

ЗЕМЛЯ И

№ 3 (345)

МАЙ-ИЮНЬ, 2022

космонавтика
астрономия
геофизика

ISSN 0044-3948

ВСЕЛЕННАЯ

КОСМИЧЕСКИЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ
В ФОРМИРОВАНИИ КЛИМАТА ЗЕМЛИ

МИХАИЛ ЛОМОНОСОВ — ИССЛЕДОВАТЕЛЬ ПЛАНЕТНЫХ
АТМОСФЕР

ЧЕЛОВЕК, ПОЗВОЛИВШИЙ НАМ УВИДЕТЬ ДРУГИЕ МИРЫ



ЗАГАДКИ ЗНАКОМОГО СОЛНЦА
ОТКРЫТИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ У МАРСА

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫЕ ЖУРНАЛЫ ТЕПЕРЬ ДОСТУПНЫ ВСЕМ



Уважаемые коллеги!
Открыта подписка для физических лиц
на номера 2022 г. научно-популярных журналов
«Земля и Вселенная», «Природа»,
«Энергия: экономика, техника, экология»

ЖУРНАЛ «ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ»

Стоимость годового комплекта (6 номеров) 1650 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7 (495) 276-77-35 (доб. 42-31)

E-mail: zevs@naukaran.com

Шубинский пер., д. 6, стр. 1

ЖУРНАЛ «ПРИРОДА»

Стоимость годового комплекта (12 номеров) 3840 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7 (495) 276-77-35 (доб. 41-71)

E-mail: priroda@naukaran.com

Шубинский пер., д. 6, стр. 1

ЖУРНАЛ «ЭНЕРГИЯ: ЭКОНОМИКА, ТЕХНИКА, ЭКОЛОГИЯ»

Стоимость годового комплекта (12 номеров) 3840 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7 (495) 362-07-82

E-mail: energy@iht.mpei.ac.ru

ул. Красноказарменная, 17а

**Журналы также можно приобрести в розницу в сети
магазинов «Академкнига» по следующему ценам:**

«Земля и Вселенная» — 295 руб.

«Природа» — 340 руб.

«Энергия: экономика, техника, экология» — 340 руб.

**Выпуски и статьи журналов в электронном
виде можно приобрести на сайте libnauka.ru**



СТОИМОСТЬ ОДНОГО ВЫПУСКА/СТАТЬИ ЖУРНАЛА В ЭЛЕКТРОННОМ ВИДЕ, ИЗДАННОГО В 2022 ГОДУ

Журнал	Выпуск (руб.)	Статья (руб.)
«Земля и Вселенная»	229	79
«Природа»	286	79
«Энергия: экономика, техника, экология»	286	79

Подписаться можно в редакциях
указанных журналов.

Убедительная просьба связаться
с редакциями перед визитом.

**В случае возникновения вопросов можно также обращаться
в Управление по выпуску журналов ФГУП «Издательство «Наука»:**

Тел.: +7 (495) 276-77-35 (доб. 43-01)

E-mail: journals@naukaran.com

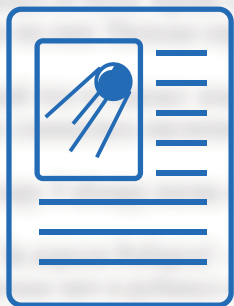


Издательство “Наука” оказывает услуги:

- СОЗДАНИЕ ОРИГИНАЛ-МАКЕТА
 - редактирование
 - вёрстка
 - изготовление рисунков
- ХУДОЖЕСТВЕННОЕ ОФОРМЛЕНИЕ
- ВСЁ КОМПЛЕКС ПОЛИГРАФИЧЕСКИХ УСЛУГ
- РАСПРОСТРАНЕНИЕ В РОЗНИЧНОЙ СЕТИ “АКАДЕМКНИГА”

**Высокопрофессиональные специалисты “Науки”
готовы к сотрудничеству**

naukapublishers.ru



НАУКА

www.libnauka.ru

*Добро пожаловать
в электронную библиотечную систему
Издательства «Наука»!*

Электронная библиотечная система Издательства «Наука» – это простой и удобный доступ к огромной коллекции статей и книг, входящих в портфолио «Науки»

Электронная библиотечная система это:

- научная, научно-популярная и классическая литература, от статей до монографий
- оперативное обновление новинок благодаря тесной интеграции с редакционно-издательской системой «Науки»
- разветвленный тематический каталог
- простая и эффективная система поиска
- интуитивная и простая система оформления заказа и подписок
- прозрачная система статистики
- надежность доступа и стабильность работы

Реклама

Присоединяйтесь к миру «Науки»!

ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

№3 (345)
МАЙ-ИЮНЬ, 2022

ISSN 0044-3948

космонавтика
астрономия
геофизика

Научно-популярный журнал
Российской академии наук
Издается под руководством
Президиума РАН
Выходит с января 1965 года
6 раз в год
«Наука»
Москва

На обложке: Фотография
«Загадывайте желания» –
победитель итогового конкурса
астрофотографии 2021 года
в категории «Астрономические
пейзажи» на АстроФоруме [https://
astronomy.ru/forum/index.php](https://astronomy.ru/forum/index.php).
Автор Михаил Рева aka Dolphin

В НОМЕРЕ:

Колонка главного редактора	3
ФЛЕЙШМАН Г.Д. Загадки знакомого Солнца	5
БРЕУС Т.К., КОТОВА Г.А. История открытия магнитного поля у Марса	20

Гипотезы, дискуссии, предложения

АВАНЕСОВ Г.А., МИХАЙЛОВ М.В. Космические и антропогенные факторы в формировании климата Земли	30
---	----

Образование

ГОЛОВАНОВА А.В., МАГАРЯН К.А., НАУМОВ А.В. Вторая Викторина юных физиков Отделения физических наук РАН. Часть 2. Вопросы	47
--	----

Люди науки

КОРОСТЕЛЕВ С.Г. Парад планет Леонида Ксанфомалити. К 90-летию со дня рождения. Окончание	50
--	----

История науки

ЗЕЛЁНЫЙ Л.М. М.В. Ломоносов. У истоков исследования планетных атмосфер и философии русского космизма	63
--	----

История космонавтики

ГЕКТИН Ю.М. Человек, позволивший нам увидеть другие миры	83
--	----

Литературный космос

САЖИНА О.С. «Сезам». Рассказ о пилоте Пирксе	94
--	----

Образование

Викторина Отделения физических наук РАН. Часть 2. Ответы	100
--	-----

Table of Content and Selected Abstracts	106
---	-----

Earth&Universe: Astronomy, Geophysics, Cosmonautics
Bimonthly popular scientific magazine of the Russian Academy of Sciences & NAUKA Publishing.
Founded 1965.

Published by NAUKA Publishing, Profsoyuznaya Str., 90, 117997, Moscow, Russia.

Редакционная коллегия:

главный редактор
академик Л.М. ЗЕЛЁНЫЙ,
летчик-космонавт
П.В. ВИНОГРАДОВ,
зам. главного редактора
кандидат филолог. наук
О.В. ЗАКУТНЯЯ,
доктор исторических наук
К.В. ИВАНОВ,
летчик-космонавт
А.Ю. КАЛЕРИ,
кандидат физ.-мат. наук
О.Ю. ЛАВРОВА,
доктор физ.-мат. наук
А.А. ЛУТОВИНОВ,
зам. главного редактора
доктор физ.-мат. наук
О.Ю. МАЛКОВ,
доктор физ.-мат. наук
И.Г. МИТРОФАНОВ,
академик И.И. МОХОВ,
член-корр. РАН
И.Д. НОВИКОВ,
доктор физ.-мат. наук
С.П. ПЕРОВ,
доктор физ.-мат. наук
К.А. ПОСТНОВ,
доктор физ.-мат. наук
М.В. РОДКИН,
научный директор
Московского планетария
Ф.Б. РУБЛЁВА,
член-корр. РАН
А.Л. СОБИСЕВИЧ,
член-корр. РАН
О.Н. СОЛОМИНА,
член-корр. РАН
В.А. СОЛОВЬЁВ,
академик
А.М. ЧЕРЕПАЩУК,
доктор физ.-мат. наук
В.В. ШЕВЧЕНКО,
член-корр. РАН
Б.М. ШУСТОВ

Editorial Board:

Editor-in-chief
Acad. Dr. Lev M. ZELENYI
Acad. Dr. Anatoly M. CHEREPASCHUK
Dr. Konstantin V. IVANOV
Pilot-cosmonaut Alexander Yu. KALERI
Dr. Olga Yu. LAVROVA
Dr. Alexander A. LUTOVINOV
Deputy Editor-in-chief
Dr. Oleg Yu. MALKOV
Dr. Igor G. MITROFANOV
Acad. Dr. Igor I. MOKHOV
RAS Corr.Member Dr. Igor D. NOVIKOV
Dr. Stanislav P. PEROV
Dr. Konstantin A. POSTNOV
Dr. Mikhail V. RODKIN
Faina B. RUBLEVA
Dr. Vladislav V. SHEVCHENKO
RAS Corr. Member Dr. Boris M. SHUSTOV
RAS Corr. Member Dr. Alexey L. SOBISEVICH
RAS Corr. Member Dr. Olga N. SOLOMINA
RAS Corr. Member Dr. Vladimir A. SOLOVYEV
Pilot-cosmonaut Pavel V. VINOGRADOV
Deputy Editor-in-chief
Dr. Olga V. ZAKUTNYAYA

Колонка главного редактора

Дорогие читатели, коллеги, друзья!

Хочется, как всегда, порадовать читателей журнала хорошими новостями – но их пока нет. Российско-европейская космическая миссия к Марсу «ЭкзоМарс-2022» остановлена решением Европейского космического агентства и вряд ли уже когда-нибудь покинет Землю. Астрофизическая обсерватория «Спектр-Рентген-Гамма» для исследований Вселенной в рентгеновском диапазоне излучения работает теперь «вполсилы»: функционирует только российский телескоп ART-XC имени его создателя Михаила Павлинского, а мощный немецкий инструмент – телескопа *eRosita* «усыплен» решением аэрокосмического агентства Германии (DLR). Здесь есть все же надежда, что этот телескоп, уже получивший уникальные обзоры рентгеновского неба, «будет разбужен» в не столь отдаленном будущем. Кстати, следующий, четвертый номер ЗиВ будет посвящен астрофизике и в первую очередь – этому выдающемуся проекту.

В номере, который сейчас вы держите в руках, первые статьи – известного специалиста Григория Флейшмана, которая продолжает «солнечную тематику», и авторского дуэта Тамары Бреус и Галины Котовой о магнитном поле Марса продолжают основную политику нашего научно-популярного журнала, которая заключается в том, чтобы доносить до читателей лишь проверенные «ортодоксальные» (в хорошем смысле) концепции. Но иногда и из этого правила надо делать исключения.

И, как кажется, статья Г.А. Аванесова и М.В. Михайлова о формировании климата Земли, которая дана под рубрикой «Гипотезы, дискуссии, предло-

жения» – тот самый случай. Проблема соотношения антропогенных и естественных факторов в их влиянии на формирование современного климата Земли слишком сложна, и сегодня мы находимся далеко от ее решения, так что истинными вполне могут оказаться и те идеи, которые сегодня не относятся, что называется, к научному «мейнстриму».

В номере удачно собрались статьи о двух близких друзьях: Леониде Васильевиче Ксанфомалити и Арнольде Сергеевиче Селиванове, написанные С.Г. Коростелевым и Ю.М. Гектиным. Л.В. Ксанфомалити, ушедший из жизни в 2019 году, многолетний автор научно-популярных статей, в том числе в ЗиВ, сделал очень много для планетных и кометных исследований. Одна из его оригинальных и часто встречаемых в штыки идей была как раз связана с телевизионными панорамами Венеры, полученными с помощью созданных А.С. Селивановым уникальных для своего времени телевизионных систем, стоящих на всех венерианских посадочных аппаратах, запущенных в 1960–1980 гг. в СССР.

«Крамольная» идея Л.В. Ксанфомалити базировалась на обработке фотопанорам А.С. Селиванова с помощью современных методов анализа изображений. Леонид Васильевич увидел в результате движущиеся структуры, напоминающие живые объекты. Конечно, этот вывод противоречит обычной интуиции и вызывает споры. Все рассудит, как всегда, эксперимент: к 2029 г. планируется запуск к Венере новой отечественной экспедиции «Венера-Д», на посадочном аппарате которой будут установлены самые современные оптические системы.

В этом же номере помещена моя статья, посвященная открытию атмосферы Венеры Михаилом Васильевичем Ломоносовым в уже столь далеком 1761 г. Я упоминаю там и о странной гипотетической венерианской жизни, которая обсуждалась в работах Л.В. Ксанфомалити и его соавторов.

История появления этой статьи о Ломоносове для меня особенная. Последние 10 лет я много занимался подготовкой российской (а в начале и международной) новой экспедиции к Венере, о которой я уже упомянул выше. А в ноябре 2021 г. в Архангельске широко отмечался 310-летний юбилей М.В. Ломоносова, и меня попросили сделать доклад об одном из его важнейших достижений – открытии атмосферы Венеры.

Побывав на архангельской земле, особенно в его родных Холмогорах, я очень много понял об этом выдающемся человеке и, преодолев накопившийся вокруг

него «хрестоматийный глянец», попал под обаяние его яркой личности.

Вчитавшись в его работы, я увидел и то, что по сути Ломоносов является предтечей русского космизма – важнейшего философского течения, возникшего в России в конце XIX в. Это явление долгое время находилось как бы в «пограничной области» внимания исследователей: и историков науки, и философов, и культурологов, – в том числе из-за того, что воззрения философов-космистов не всегда совпадают со строго научной методологией, а иногда и вовсе кажутся антинаучными. Но это уже другая история, о которой мы планируем позже рассказать и на страницах ЗиВ.

Хорошего (и надеюсь уже мирного) нам лета.

*Главный редактор журнала
«Земля и Вселенная»
академик
Лев Матвеевич Зелёный*

Издательство предлагает услуги по редакционно-издательской подготовке материалов, сборников, а также весь комплекс полиграфических услуг

Издательство «Наука» готово оказать услуги под ключ по организации и проведению семинаров, конференций, презентаций, выставок в конференц-залах и на экспозиционных площадках издательства по адресам:

г. Москва, Шубинский пер., д. 6, стр. 1
Московская обл., г. Люберцы, Октябрьский пр-т, д. 403

По всем интересующим вопросам обращайтесь по тел.: +7(495)276-7735
Подробная информация на сайте www.naukapublishers.ru/history/partnership

ЗАГАДКИ ЗНАКОМОГО СОЛНЦА



ФЛЕЙШМАН Григорий Давидович,
профессор

Центр солнечно-земных исследований,
Технологический институт Нью-Джерси, США

DOI: 10.7868/S004439482203001X

ВВЕДЕНИЕ. СОЛНЦЕ – БЛИЗКОЕ И ЗНАКОМОЕ

Солнце. Казалось бы, что может быть более близким, чем такое знакомое с детства Солнце. «Иди, поиграй на солнце», «смотри, не сгни на солнце» – говорит мама. «Солнечный круг, небо вокруг». «Солнечный Магадан». Солнечные стихи: «Как солнце зимнее прекрасно» Лермонтова, «Волны заласкают ясное светило» Северянина, «Солнце комнату наполнило Пылью желтой и сквозной» Ахматовой, «Святое око дня, тоскующий гигант!» Бальмонта, «И на Солнце бывают пятна» Шаова... Что может быть ближе и понятнее этого далекого раскаленного шара, который обеспечивает нас теплом и светом, а некоторых, по меткому замечанию выдающегося исследователя Солнца Георгия Борисовича Гельфрейха, еще и интересной рабо-

той? Какие еще загадки? И тем не менее, приглядевшись к нашему светилу поближе, мы и сегодня увидим много загадочного и непонятого. О некоторых загадках такого знакомого нам Солнца мы поговорим сегодня в этой статье.

НАУЧНОЕ ЗНАНИЕ, ЗДРАВЫЙ СМЫСЛ И ЖИЗНЕННЫЙ ОПЫТ

Но прежде чем говорить про Солнце, коснемся «философского» вопроса о различии между научным и обыденным знанием – тем, которое мы приобретаем из жизненного опыта, формирующего наш «здравый смысл». Это поможет нам лучше понять, почему порой хорошо знакомые нам физические явления и законы проявляются на Солнце совсем не так как в нашей повседневной жизни, технике или лаборатории.

В повседневной жизни мы наблюдаем явления во всей их полноте, которая включает как явные факторы, так и скрытые. При этом мы часто приписываем весь наблюдаемый эффект только действию явных факторов, что может приводить к заблуждениям. Выявить как явные, так и скрытые факторы, и разобраться в том, какую конкретно роль играет каждый из них, – это задача науки.

Один из ярких примеров таких заблуждений связан с вопросом о том, при каких условиях физическое тело движется прямолинейно и равномерно. Всем хорошо известно, что для равномерного движения машины по дороге нужно тратить энергию, получаемую при сжигании бензина, или из аккумуляторных батарей, или из другого источника. Эти «полезные» силы, в отличие от скрытых, нам хорошо заметны – мы заправляем машину бензином и тратим свои деньги. А если бросить камень или выпустить стрелу, то они вскоре упадут, поскольку они движутся по инерции, не поддерживаемые никакой силой. Исходя из таких наблюдений, еще Аристотель две тысячи лет назад сделал вывод о необходимости силы для поддержания движения: «...в ответ на эту силу тело движется по прямой линии с постоянной скоростью». Благодаря исследованиям Галилея и Ньютона мы теперь знаем, что это не так: тело движется прямолинейно и равномерно, если полная приложенная к нему сила отсутствует (т. е. равна нулю). Откуда же возникло заблуждение? Действительно, в реальной жизни для поддержания движения требуется тратить энергию. Но эта энергия целиком и полностью тратится на то, чтобы компенсировать различные силы трения таким образом, что равнодействующая «полезных» и «деструктивных» сил равна нулю.

Если в таком, на первый взгляд, очень простом вопросе не удалось разобраться многие сотни лет, то стоит ли удивляться, что исследование сложнейших природных объектов, в том числе – Солнца, преподнесло и еще преподнесет великое множество загадок, сюрпризов и неожиданностей.

КАК УСТРОЕНО СОЛНЦЕ

Конечно, Солнце состоит не из одних загадок; мы многое о нем знаем. Мы знаем, что оно находится на расстоянии почти 150 млн км от Земли (8.3 световые минуты), его масса более чем в 330 тыс. раз превышает массу Земли. Диаметр Солнца составляет более 1.3 млн км (более ста диаметров земли; см. рис. 2), что соответствует объему 1.4 кубических млн км (примерно 1.3 млн объема земли).

Солнце в основном состоит из водорода (73% массы) и гелия (25% массы); все остальные элементы вносят 2% в общую массу Солнца. Вещество на Солнце находится в состоянии плазмы – частично или полностью ионизованного газа в зависимости от глубины под (или высоты над) видимой поверхностью Солнца. Плотность Солнца очень сильно меняется с глубиной/высотой под влиянием противодействующих друг другу силы тяжести и давления этой плазмы.

На Солнце (см. рис. 1) обычно выделяют его внутреннюю часть, находящуюся под видимой поверхностью Солнца – фотосферой, и внешнюю часть – атмосферу. Самая глубокая область внутри Солнца, простирающаяся от его центра до высот порядка 20–25% радиуса, называется ядром. В ядре звезды давление, плотность и температура газа настолько высоки, что там происходят термоядерные реакции слияния протонов (ядер водо-

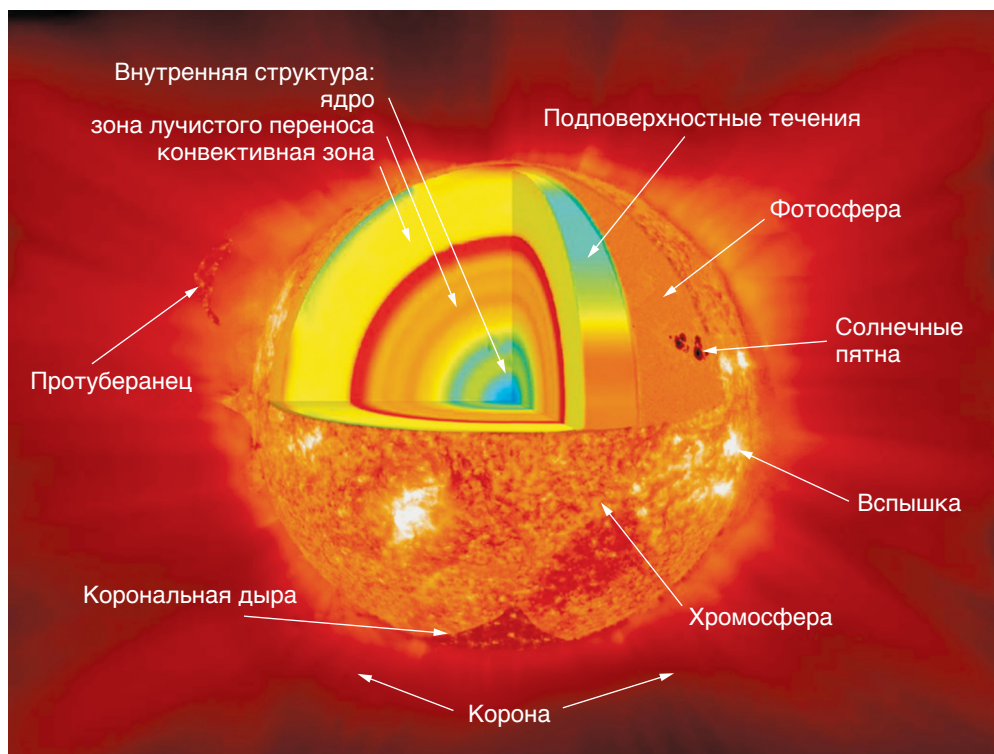


Рис. 1. Схема внутреннего строения и внешних слоев Солнца.

Источник: NASA/Goddard https://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/science/Sunlayers.html

рода) с образованием ядер гелия. Эти реакции сопровождаются выделением тепла и создают давление, которое не позволяет внешним областям Солнца сжиматься под действием собственной тяжести. Таким образом, Солнце существует в более или менее неизменном виде миллиарды лет – именно на столько времени хватит запасов термоядерного горючего в недрах Солнца.

Энергия, выделившаяся в ядре, постепенно распространяется к поверхности Солнца, многократно поглощаясь и переизлучаясь на своем пути. В результате, фотон, испущенный в солнечном ядре, достигает внешних слоев не за несколько секунд, как можно было бы ожидать исходя из размеров Солнца, а за десятки и сотни тысяч лет.

Непосредственно над ядром и до высоты около 70% радиуса находится зона излучения – в ней энергия переносится почти исключительно излучением, тогда как крупномасштабные движения вещества отсутствуют. На остальные 30% радиуса приходится конвективная зона, где наоборот, происходят очень интенсивные перемещения огромных масс вещества. Эти движения являются основным источником магнитных полей Солнца, которые играют ключевую роль в огромном многообразии динамических явлений, про которые мы будем говорить ниже. Важно отметить, что так же как и вещество, магнитное поле обладает энергией и создает давление. В тех случаях, когда давление магнитного поля превышает

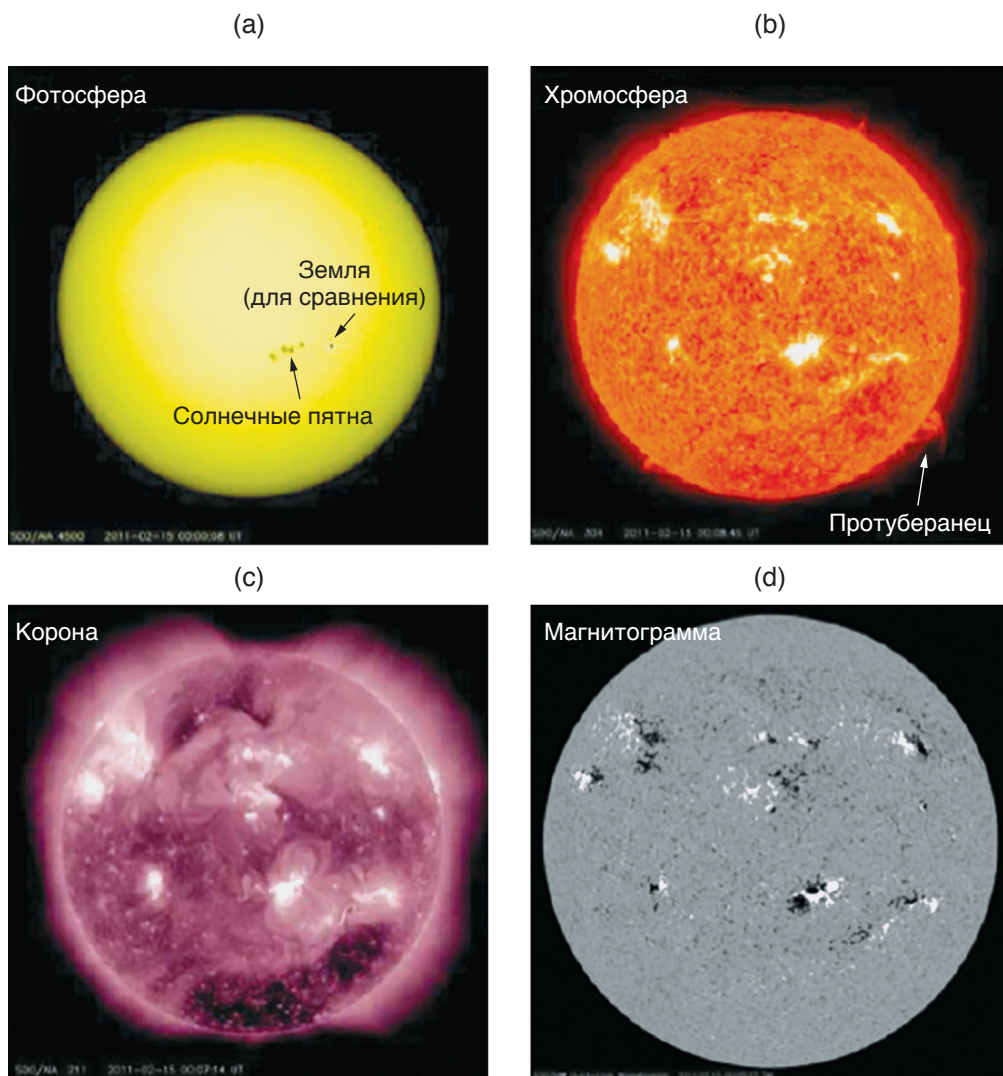


Рис. 2. Различные слои атмосферы Солнца по наблюдениям Солнечной Динамической Обсерватории: а – фотосфера в непрерывном видимом свете, б – хромосфера в ультрафиолетовой линии излучения однократно ионизованного гелия, с – корона в ультрафиолетовой линии излучения ионизованного железа, d – распределение магнитного поля на уровне фотосферы измеренное по спектральной линии нейтрального железа. На панели а для сравнения показана Земля (Fleishman & Pevtsov, 2018)

давление окружающего газа, именно магнитное поле контролирует физические явления.

Атмосфера Солнца начинается от фотосферы с температурой около 5700 К, выше которой расположены относительно холодная хромосфера

(минимум температуры, по-видимому, не превышает 4000 К) и очень горячая корона (1 млн К и выше). Фотосфера и хромосфера – только частично ионизованы, тогда так в короне нейтральных частиц уже нет. Корона очень неоднородна по плотности, темпера-

туре, химическому составу, и величине магнитного поля. Как правило, давление магнитного поля в короне больше или много больше чем давление плазмы, что определяет удивительное своеобразие процессов и явлений, происходящих в короне и на ее границе с хромосферой – таких как солнечные вспышки, выбросы корональной массы, или коллимированные джеты.

НЕЗНАЙКА, ЗНАЙКА, СТЕКЛЯШКИН И ОТРЫВАЮЩИЕСЯ ОТ СОЛНЦА КУСКИ

В конце предыдущего раздела мы походя упомянули, как само самой разумеющееся, выбросы корональной массы (или корональные выбросы массы, КВМ). КВМ – это очень большие «куски» намагниченной плазмы, которые удаляются от Солнца с огромными скоростями. Один КВМ может содержать до 10 миллиардов тонн вещества, и двигаться со скоростью от 400 до 2000 км/с. Так что кинетическая энергия выброса может достигать огромной величины – 10^{32} эрг, что в сто миллиардов раз больше энергии самых мощных термоядерных бомб.

Сама возможность отрыва кусков от Солнца и их удаления от него на первый взгляд кажется чем-то уж совсем из области фантастики. Действительно, ускорение свободного падения на поверхности Солнца почти в 30 раз больше, чем на Земле, а первая и вторая космические скорости более чем в 50 раз больше. Мы прекрасно знаем, что никакие куски от Земли не отрываются и никуда не улетают. Значит, на Солнце это тем более невозможно. И тем не менее, КВМ регулярно наблюдаются; в периоды высокой солнечной активности – по несколько КВМ в день.

Любопытно, что одна из первых гипотез о том, что от Солнца могут отрыва-

ваться куски, была высказана не в научной литературе, а детской книжке про Незнайку. Мы напомним ее здесь, поскольку на самом деле эта история весьма поучительна с точки зрения таких фундаментальных вопросов, как важность смелости при выдвижении гипотез, которые нужны для понимания новых, порой совершенно неожиданных наблюдений, важность открытой научной дискуссии и научных аргументов.

Все началось с того, что на коротышку Незнайку налетел майский жук и сбил его с ног. Дальше было вот что.

«Кто же это меня ударил? – думал Незнайка. – Может быть, сверху упало что-нибудь?»

Он задрал голову и поглядел вверх, но сверху тоже ничего не было. Только солнце ярко сияло над головой у Незнайки.

«Значит, это на меня с солнца что-то свалилось, – решил Незнайка. – Наверно, от солнца оторвался кусок и ударил меня по голове».

Хотя это звучит забавно и написано с юмором, на самом-то деле, рассуждения Незнайки – это не что иное, как первичный научный эмпирический анализ проблемы: он знает результат (какой-то толчок сбил его с ног) и ищет возможную причину в окружающем его мире.

Он пошел домой и встретил знакомого, которого звали Стекляшкин.

Этот Стекляшкин был знаменитый астроном. ...

– Слушай, Стекляшкин, – сказал ему Незнайка. – Ты понимаешь, какая история вышла: от солнца оторвался кусок и ударил меня по голове.

– Что ты, Незнайка! – засмеялся Стекляшкин. – Если бы от солнца оторвался кусок, он раздавил бы тебя в лепешку. Солнце ведь очень большое. Оно больше всей нашей Земли. [Вспомним рис. 2]

Действительно, мы уже говорили о том, что в рамках нашего повседневного опыта такое кажется абсолютно невозможным, даже смешным, просто курам на смех. И тем не менее, сегодня мы знаем, что куски от Солнца действительно отрываются. Но вернемся к коротышкам.

– Не может быть, – ответил Незнайка. – По-моему, солнце не большие тарелки.

– Нам только так кажется, потому что солнце очень далеко от нас. Солнце – огромный раскаленный шар. Это я в свою трубу видел. Если бы от солнца оторвался хоть маленький кусочек, то он разрушил бы весь наш город.

На всякий случай предостережем читателя от того, чтобы смотреть на Солнце не только в трубу, но и в скромный театральный бинокль – ослепнете. Но что же с кусками, которые, хотя и отрываются от Солнца, и летят от него в разные стороны, в том числе – в сторону Земли, пока еще никакой город не разрушили? В чем же ошибался Стекляшкин? И здесь опять мы вспоминаем про магнитное поле – на этот раз – магнитное поле Земли. Это оно защищает нас от огромных солнечных кусков, летящих на нас. Дело в том, что КВМ – это не просто куски обычного вещества, а куски ионизованной плазмы, которые не могут свободно проходить через область, занятую магнитным полем. Иначе Стекляшкин оказался бы прав: КВМ достигали бы поверхности Земли и многое разрушали. Так что, без магнитного поля Земли не было бы ни городов, ни вообще разумной жизни на Земле. Тем не менее имеются отголоски столкновений КВМ с магнитным полем Земли, например, магнитные бури и другие геомагнитные явления. КВМ наряду с другими проявлениями активности Солнца формируют физические условия в окружающем нас космическом пространстве; сегодня это

называется «космическая погода», наука о которой изучает причины и источники активных явлений и их влияние на здоровье человека и современную технологическую инфраструктуру.

– Ишь ты! – ответил Незнайка. – А я и не знал, что солнце такое большое. Пойду-ка расскажу нашим – может быть, они еще не слышали про это.

...

Незнайка побежал во всю прыть домой и давай кричать:

– Братцы, спасайся! Кусок летит!..

– Кусок, братцы! От солнца оторвался кусок. Скоро шлепнется – и всем будет крышка. Знаете, какое солнце? Оно больше всей нашей Земли!

Все стали хватать свои вещи. Тюбик схватил свои краски и кисточку, Гусля – свои музыкальные инструменты. Доктор Пилюлькин метался по всему дому и разыскивал походную аптечку, которая где-то затерялась. Пончик схватил калоши и зонтик и уже выбежал за ворота...

В этом коротком фрагменте сконцентрировались три интересных вопроса: 1) как получить надежное научное знание; 2) как его распространять; и 3) как им пользоваться. Первый вопрос решается здесь легко и просто: «посмотри в трубу». То есть, говоря языком научным, «исследуй Солнце в оптическом диапазоне длин волн» – в том самом видимом свете, к которому восприимчивы наши глаза. Сегодня мы знаем, что оптические волны – это лишь небольшая «щелочка» в широком окне электромагнитных волн, которое простирается от радиоволн до гамма-лучей. Современная физика Солнца имеет дело с наблюдениями практически во всем электромагнитном спектре без существенных перерывов между диапазонами. Но атмосфера Земли непрозрачна для большей части этого излучения, поэтому очень многие измерения делаются с космических аппаратов. В частности, это

относится к измерениям в ультрафиолетовом диапазоне, из которых добывается значительная часть данных о солнечной короне; в частности, о поведении КВМ. В оптическом же диапазоне их наблюдать довольно сложно – этому мешает само Солнце своим ярким светом. Не удивительно поэтому, что астроном Стекляшкин, вооруженный лишь самодельной подзорной трубой, не обнаружил у Солнца никаких выбросов.

За последние десятилетия человечество осознало, что получение достоверного научного знания – дело дорогостоящее. Оно требует очень крупных вложений в космическую отрасль, в создание крупных наземных инструментов, вычислительных мощностей, развитие теории и создание сложных реалистичных моделей. Именно благодаря этим усилиям человечества, сегодня наши знания о Солнце несоизмеримо полнее, чем те, которыми обладали Стекляшкин и Незнайка.

Второе. Незнайка получил весьма обрывочную информацию, причем в слагательной форме («Если бы от солнца оторвался хоть маленький кусочек...») и тут же принялся разбрасывать ее, как семена, направо и налево; причем – уже в утвердительной форме. Непроверенные данные, в которых перемешаны и надежные знания (Солнце большое), и непроверенные гипотезы (кусочек оторвался и раздавит), распространяемые Незнайкой с уверенностью и напором, могли привести только к одному – панике, что и произошло. Так что непроверенные и ненадежные сведения не следовало бы распространять вообще (хотя в реальности об этом можно только мечтать). Более того, даже надежные сведения следует распространять без искажений или преувеличений, так как и это может приводить к весьма неприятным последствиям.

И третье. Как пользоваться полученным научным знанием. Сегодня его на-

копилось довольно много – в том числе и об угрозах, которые исходят от солнечной активности. Это и радиационная опасность для космонавтов и авиапассажиров, магнитные возмущения, наведенные электрические токи, повышенный уровень электромагнитного излучения и многое другое. Известно, что самые мощные КВМ, если попадают на Землю, могут повредить или даже вывести из строя многие технологические системы или устройства. То есть проблемы, связанные с ролью космической погоды в современном технологическом обществе, очень и очень серьезные. И что же делать? Стоит ли впадать в панику по примеру Незнайки и других коротышек? Наверное, нет. А нужно планомерно, глубоко и детально изучать солнечную активность, космическую погоду и связанные с ними вопросы. Разрабатывать научно обоснованные подходы для того, чтобы минимизировать негативные последствия «плохой» космической погоды. И, конечно, нужно учитывать риски и угрозы, связанные с плохой космической погодой, при разработке новых технологий и инфраструктур.

А как же коротышки?

...но тут раздался голос Знайки:

– Успокойтесь, братцы! Ничего страшного нет. Разве вы не знаете, что Незнайка болтун? Все это он выдумал.

Заметьте, что «ученый» Знайка даже не пытается вести научную дискуссию. Он ведет себя как догматик. Он не использует никакие аргументы, не приводит ни данные наблюдений, ни результаты расчетов, а ограничивается только общей характеристикой своего оппонента – «болтун». Это заявление, сделанное в стиле современных телевизионных ток-шоу, конечно, не имеет ничего общего с научной дискуссией. Незнайка же, наоборот, обращается за поддержкой к научному сообществу:

– Выдумал? – закричал Незнайка. – Вот пойдите спросите Стекляшкина.

Все побежали к Стекляшкину, и тогда выяснилось, что Незнайка на самом деле все сочинил.

Так закончилась созданная Незнайкой паника.

Но почему же, все-таки, от Солнца куски отрываются, а от Земли – нет? Хотя не все детали этого физического явления сегодня известны, ясно, что ключевую роль играют два фактора. Во-первых, вещество в солнечной короне находится в состоянии плазмы, т. е. ионизовано и, в частности, хорошо проводит электрический ток. Во-вторых, эта плазма, как говорят, «замагничена», т. е. находится в магнитном поле, давление которого превышает (иногда – сильно превышает) тепловое давление находящейся в нем плазмы.

Важно, что хотя магнитное поле создает давление, но массы оно не имеет. Представим себе замкнутую область с сильным магнитным полем, помещенную в солнечную корону с более слабым магнитным полем. Наша область будет находиться в равновесии, если на нее не действует сила; точнее – если равнодействующая всех сил, действующих на нее, равна нулю. В частности, должен соблюдаться баланс давлений на границе нашей области и окружающей короны. Но в нашей области повышено магнитное поле и магнитное давление. Значит, должно быть понижено тепловое давление самой плазмы. Значит, будет понижена плотность плазмы в нашей области. Таким образом, наряду с силой солнечной гравитации, на нашу область будет действовать выталкивающая сила Архимеда. В результате может оказаться, что уже относительно «скромного» энерговыделения будет достаточно, чтобы наша область потеряла устойчивость, оторвалась от Солн-

ца и стала от него удаляться; иногда – прямо в сторону Земли.

В реальной короне, конечно, область повышенного магнитного поля не может появиться ниоткуда. Такое магнитное поле создается текущими в короне электрическими токами. Согласно законам электродинамики, магнитное поле закручивается вокруг создающего его тока. Такое поле имеет вид «косички» или скрученной веревки. Поэтому основа КВМ – это всегда скрученная структура, выдающая своей скрученностью наличие там электрических токов и повышенных магнитных полей. Детали энерговыделения, приводящего к ускорению КВМ при его движении от Солнца пока не ясны, но несомненно, что единственным источником, содержащим достаточно энергии, является корональное магнитное поле. Эта энергия выделяется в результате сложного процесса, получившего название «магнитного пересоединения», которое можно упрощенно, но наглядно представить как исчезновение (аннигиляцию) противоположно направленных силовых линий магнитного поля, при котором энергия аннигилирующего магнитного поля, конечно, не исчезает, а преобразуется в другие формы – в том числе, в энергию направленного движения КВМ.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КОРОНЫ, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ТОКИ И ИОННЫЕ ЛОВУШКИ

Мы уже говорили, что Солнце в основном состоит из водорода и гелия, тогда как все остальные элементы вместе взятые составляют всего лишь около двух процентов массы Солнца. И тем не менее, роль этих других элементов отнюдь не маленькая. Например, то, как Солнце выглядит в ультрафиолетовых лучах, какой поток ультрафи-

олетового излучения попадает на Землю, какой у него спектр (т. е. как энергия излучения распределена по длинам волн) – все это определяется в первую очередь «редкими» элементами, более тяжелыми, чем гелий, и их состоянием ионизации, т. е. тем, сколько электронов удалено из исходного нейтрального атома.

Поток и спектр ультрафиолетового излучения важны не только при приеме солнечных ванн. Они определяют состояние внешних слоев земной атмосферы, составляющих ионосферу, название которой говорит нам о том, что в ней находится ионизованное вещество, плазма. Ионосфера влияет на распространение радиоволн, радиосвязь, работу радаров и многое другое. Так что небольшое количество «редких» элементов на Солнце напрямую связано как со здоровьем человека (возможность «обгореть» на пляже) так и с работой сложных инженерных систем.

Состояние ионизации различных элементов зависит от свойств окружающей среды – в первую очередь, температуры и плотности. Так что наблюдая характерные спектральные линии, испускаемые ионами различных элементов, находящихся в различных состояниях ионизации, ученые могут весьма детально изучать распределение плазмы по объему солнечной атмосферы. Кроме того, такие элементы, как железо и кальций, играют неоценимую роль при измерении магнитного поля на фотосфере и в хромосфере. Дело в том, что некоторые спектральные линии этих элементов в нейтральном или ионизованном виде оказываются очень чувствительны к окружающему магнитному полю. Измерение магнитного поля основано на так называемом эффекте Зеемана, который приводит к расщеплению спектральной линии на несколько компонентов. Их положение в спектре и состояние поляри-

зации зависят от величины и направления окружающего магнитного поля. Хотя этому эффекту подвержены многие спектральные линии, некоторые из них испытывают особенно сильное расщепление, поскольку величина расщепления зависит от характерного для данного перехода множителя, называемого фактором Ланде. Эти спектральные линии лучше всего подходят для измерения магнитного поля.

Для использования спектральных линий в количественной диагностике плазмы солнечной атмосферы нужно знать обилие элементов и их состояние ионизации. Исторически раньше всего были исследованы спектры в видимом свете, которые формируются в яркой фотосфере. Соответственно, химический состав фотосферы оказался довольно хорошо изучен. Но когда стали появляться и систематизироваться данные о химическом составе короны, оказалось, что он довольно сильно отличается от фотосферного. Причем это отличие не случайное, а систематическое. Выяснилось, что обилие тех элементов, которые легко теряют один электрон из своей электронной оболочки (в таких случаях говорят о низкой величине потенциала первой ионизации), в короне повышены в среднем в четыре раза по сравнению с фотосферой, тогда как обилие элементов с высоким потенциалом первой ионизации совпадают с фотосферным.

В настоящее время пока еще не создана законченная и общепринятая теоретическая модель, которая бы детально объясняла это явление. Ясно, однако, что ключевую роль здесь должны иметь электрические поля и токи, которые по-разному действуют на нейтральные и заряженные частицы: действительно, в фотосфере и хромосфере элементы с высоким потенциалом ионизации почти полностью нейтральны, а с низким – почти полностью ионизованы.

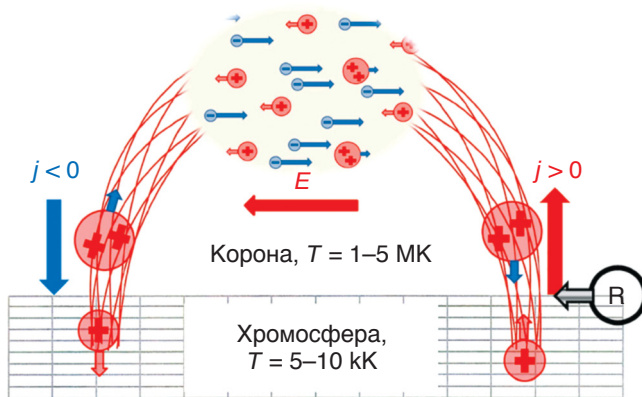


Рис. 3. Схематическое изображение корональной магнитной арки с электрическим током, опирающейся «ногами» на хромосферу и движения заряженных частиц, составляющих этот электрический ток

Из различных физических явлений, предложенных в литературе для объяснения эффекта потенциала первой ионизации, мы здесь рассмотрим лишь один – в связи с его наглядностью и курьезностью. И прежде всего мы рассмотрим вопрос о том, в каком направлении движутся заряженные частицы, создающие электрический ток под действием электрического поля. Из школьного курса физики общеизвестно, что положительные заряды (ионы) движутся вдоль вектора электрического поля, тогда как отрицательные заряды (электроны) – в противоположном направлении, поэтому поставленный выше вопрос кажется тривиальным. Однако электрический ток создается не отдельными частицами, а их коллективом в результате достижения баланса между ускоряющей силой, создаваемой внешним электрическим полем, и замедляющей силой, создаваемой столкновениями частиц друг с другом. Важно, что ускоряющая сила пропорциональна заряду частицы Z , выраженному в единицах заряда протона ($Z = 1$ для протона, $Z = 2$ для альфа-частицы и т.д.), тогда как тормозящая сила пропорциональна квадрату этого заряда, Z^2 .

Под действием электрического поля электроны, вследствие своей малой массы, приобретают гораздо большие направленные скорости, чем ионы. Поэтому, сталкиваясь с высокозаряженными ионами ($Z = 2$ и выше), электроны увлекают их за собой в сторону, *противоположную* вектору электрического поля. Этот необычайно красивый физический эффект был теоретически открыт еще в 1960 году выдающимся ФИАНовским физиком Александром Викторовичем Гуревичем. *Вдоль* вектора электрического поля двигаются *только* ионы с единичным зарядом.

Но как же это может помочь в увеличении в короне химических элементов с низким потенциалом первой ионизации? Рассмотрим типичный структурный элемент солнечной короны – магнитную арку, опирающуюся своими основаниями на хромосферу, вдоль которой течет электрический ток (см. рис. 3). В стационарной короне, где доминирует давление магнитного поля, электрический ток течет вдоль силовых линий магнитного поля, в данном случае – вытекает из правого основания («ноги») арки и втекает в левое основание. Замыкается этот электрический ток в фотосфере и подфотосферных слоях. Движения плазмы в этих слоях (там доминирует уже давление газа, а не магнитного поля) создают электродвижущую силу и, соответственно, электрическое поле, поддерживающее электрический ток в нашей арке.

Теперь нам остается просто проследить за тем, как ионы и атомы различных элементов будут распределяться вдоль такой арки с электрическим

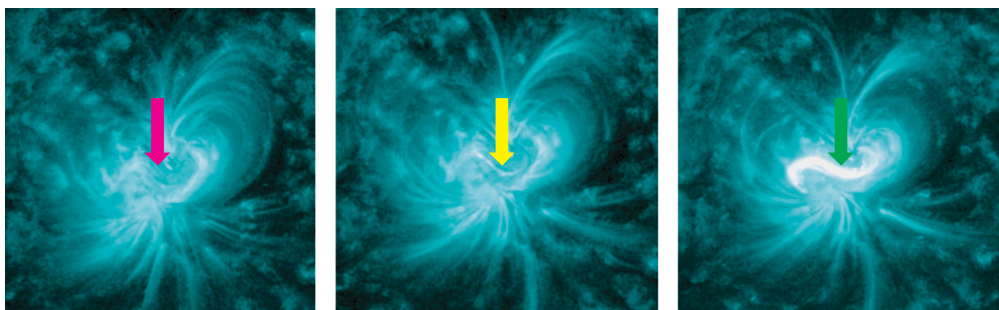


Рис. 4. Пример появления скрученной токонесущей структуры (сигмоида), наблюдаемой в ультрафиолетовом диапазоне длин волн, как бы «ниоткуда». Три панели показывают эволюцию активной области 12158 10 сентября 2014. Изображения в спектральной линии ионизованного железа с длиной волны $131 \text{ \AA}$ получены в 14:50, 16:35 и 17:05 UT (универсального времени). Исследование показывает, что скрученная магнитная структура существовала на протяжении всего рассматриваемого промежутка времени, но в начале она не была видна в ультрафиолетовом излучении

током. Для этого важно, что корона горячая, а хромосфера относительно холодная. Поэтому в короне практически все атомы ионизованы, причем большинство из них ионизовано многократно. В хромосфере же, из-за ее низкой температуры, атомы с высоким потенциалом первой ионизации остаются нейтральными, так что на них электрическое поле не действует. Атомы с низким потенциалом первой ионизации в хромосфере ионизованы; в основном – однократно.

Что происходит с многозарядными ионами в нашей арке? Как уже говорилось, под действием направленного действия токонесущих электронов, эти ионы будут дрейфовать *против* электрического поля в направлении правой ноги арки. При достижении уровня хромосферы они попадают в область холодной плазмы и начинают присоединять к себе свободные электроны (рекомбинировать). И как только ион достигнет состояния ионизации с зарядом единица, баланс сил изменится и ион начнет двигаться вверх. Там он опять попадет в горячую корону, начнет терять электроны (ионизоваться) и снова будет двигаться вниз. И так

далее. Это значит, что ионы с низким потенциалом первой ионизации будут заперты в области правого основания нашей арки. Данное основание будет обогащено этими ионами, поскольку захватываться в такие «ионные ловушки» будут как ионы, опускающиеся сверху, так и приходящие снизу.

Судьба ионов с высоким потенциалом первой ионизации иная. В хромосфере они рекомбинируют до состояния нейтральных атомов и поэтому не захватываются в ионные ловушки, а свободно перемещаются вследствие обычной диффузии.

Таким образом, если бы в корональных арках ничего не происходило, кроме протекания стационарного электрического тока, то спустя непродолжительное время (от нескольких часов до нескольких дней в зависимости от величины электрического тока), все ионы с низким потенциалом первой ионизации скопились бы в ионных ловушках, тогда как корональная часть арки содержала бы только электроны и протоны. На самом деле такая идеальная картина не достигается. В корональных магнитных арках время от времени

происходят акты выделения энергии. В результате по ионным ловушкам наносятся ощутимые удары, которые выбивают ионы из ловушек, так что они на какое-то время почти однородно заполняют весь объем корональной арки, а затем снова скапливаются в ловушках. Поскольку содержание таких ионов в ловушке увеличено по сравнению со средним химическим составом Солнца, то наша корональная арка будет также демонстрировать повышенное содержание ионов с низким потенциалом первой ионизации, что и наблюдается.

КАК И ЧЕМ НАГРЕВАЕТСЯ КОРОНА? ПОЧЕМУ ОНА В 20 РАЗ ГОРЯЧЕЕ ПОВЕРХНОСТИ СОЛНЦА?

Представьте себе, что вы взяли кусок льда и поставили на него кастрюлю с водой, вода закипела, и вы сварили в этой кастрюле суп. Звучит как бред. Но именно так выглядит распределение температуры с высотой в солнечной атмосфере, про что мы уже упоминали. Действительно, над относительно холодными фотосферой и хромосферой находится очень горячая корона. И это при том, что поток энергии идет из центра Солнца наружу. То есть, казалось бы, чем дальше от поверхности, тем холоднее должна быть атмосфера (как у Земли), тогда как наблюдается все с точностью до наоборот. Вопрос о том, почему корона такая горячая, как и чем она нагревается, остается одной из нерешенных фундаментальных загадок.

Необходимость постоянного подвода энергии к короне, ее нагрева, следует из самого общего рассмотрения потерь корональной плазмы на излучение. При температуре в несколько миллионов градусов и плотности 10^7 – 10^9 см⁻³, каждый кубический сантиметр корональной плазмы теряет 10^{-8} – 10^{-4} эрг

каждую секунду. Вся корона целиком теряет порядка 10^{27} эрг в секунду, что составляет примерно одну миллионную часть полной светимости Солнца. Понятно, что эти неизбежные потери энергии должны как-то пополняться с тем же темпом, иначе – корона бы очень быстро остыла.

Можно рассмотреть несколько логически возможных механизмов нагрева корональной плазмы, отбросить некоторые из них и таким образом по крайней мере сузить список возможных кандидатов на основные механизмы нагрева. Первым и самым привычным из них является Джоулев нагрев, связанный с потерями энергии токов, текущих в плазме. Однако, проводимость корональной плазмы очень высокая, поэтому потери токов на нагрев плазмы очень маленькие. Выделяемое этими токами Джоулево тепло содержит на много порядков величины меньше энергии, чем нужно для поддержания высокой корональной температуры. Можно представить себе ситуацию, когда проводимость плазмы сильно уменьшается благодаря неизвестным физическим процессам, приводящим к «аномальной» проводимости. Но тогда остается непонятным, как извлечь ионы из ионных ловушек с тем, чтобы обеспечить наблюдаемые в короне обилия химических элементов, о чем шла речь в предыдущем разделе. Поэтому процессы «стационарного» непрерывного энерговыделения, приводящие к более или менее постоянному энерговыделению в короне, по-видимому, могут быть исключены из рассмотрения.

Перспективную альтернативу стационарному нагреву представляют процессы импульсного энерговыделения, среди которых рассматривается нагрев волнами и нагрев благодаря нановспышкам – процессам импульсного энерговыделения в результате

пересоединения магнитного поля. Идея нановспышек состоит в том, что подфотосферные движения плазмы (те самые, которые отвечают за создание и поддержание электрических токов в короне, рассмотренных в предыдущем разделе) запутывают силовые линии магнитного поля в короне. Когда эта запутанность достигает некоторого критического уровня, силовые линии пересоединяются с выделением запасенной в магнитном поле свободной энергии, что и приводит к эпизоду импульсного нагрева плазмы. При этом за короткое время выделяется значительная энергия (такая, чтобы в среднем за цикл нагрева-охлаждения компенсировать потери плазмы на излучение). Такого энерговыделения, по-видимому, оказывается достаточно, чтобы нанести сильный «удар» по основаниям магнитной арки – в том числе по ионным ловушкам – и обогатить корональную часть арки ионами (см. предыдущий раздел). Обратим внимание на то, что и здесь, в нагреве короны, солнечный магнетизм играет ключевую роль: именно накопление и выделение свободной магнитной энергии в короне приводит к ее нагреву. Однако наиболее важные детали этого сложного процесса, ученым еще предстоит выяснить.

УСКОРЕНИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ. ПОЧЕМУ НА СОЛНЦЕ ЧАСТИЦЫ УСКОРЯЮТСЯ, А В ПРОВОДАХ – НЕТ?

В солнечных вспышках и некоторых других солнечных явлениях, связанных с быстрым выделением свободной магнитной энергии в короне, часть заряженных частиц, электронов и ионов, может быть ускорена до очень высоких энергий, существенно превышающих типичные энергии тепловых ча-

стиц в плазме. Не останавливаясь на очень важных деталях процессов ускорения частиц, мы здесь рассмотрим лишь наиболее общие, фундаментальные свойства этого явления. Прежде всего заметим, что единственной фундаментальной силой, способной приводить к увеличению энергии заряженной частицы, является сила, создаваемая электрическим полем, тогда как ни магнитные, ни гравитационные силы (не говоря уже про действующие на микроскопических масштабах сильные и слабые взаимодействия) на это не способны. Для того, чтобы ускорить некоторую заряженную частицу (например, электрон) до данной энергии (например, 1 МэВ), электрическое поле должно совершить над электроном соответствующую работу, равную $A = e \int E \cdot ds$ (= 1 МэВ). Чем меньше электрическое поле, тем больший путь должен пройти электрон, чтобы набрать требуемую энергию, и тем большее время ему для этого потребуется.

Мы уже несколько раз говорили про электрические поля в короне, но до сих пор они создавали лишь стационарные токи. Стационарные токи в плазме, так же, как и в обычных проводах у нас дома, создаются (в среднем) равномерно движущимися электронами, а совсем не ускоренными до высоких тепловых энергий. В чем же тут дело? При каких условиях электрическое поле приводит к созданию стационарного электрического тока, а когда оно может ускорить заряженные частицы до высоких энергий?

Для того, чтобы ответить на этот вопрос, нам нужно разобраться в том, как и из-за чего (в проводах или в плазме) устанавливается стационарный электрический ток. Действительно, каждый отдельный электрон ускоряется какое-то время под действием электрического поля, но затем, сталкиваясь с ионом окружающей плазмы (или

металла, из которого сделан провод), теряет набранную энергию. Чем плотнее плазма, тем чаще происходят столкновения, т. е., как говорят, тем больше частота столкновений и тем меньше время между последовательными столкновениями. Расстояние, проходимое электроном между двумя последовательными столкновениями, называется длиной свободного пробега.

Из-за особенностей Кулоновского взаимодействия между движущимися заряженными частицами, частота столкновений имеет весьма интересную зависимость от скорости (энергии) электрона. При небольших скоростях частота столкновений увеличивается при увеличении скорости. Но как только скорость электрона превысит тепловую скорость в плазме, частота столкновений начинает резко уменьшаться. Поэтому после того как электрон ускорился до нетепловых значений энергии, Кулоновские столкновения теряют способность эффективно тормозить этот электрон. Поэтому он может перейти в режим «убегания» и продолжать неограниченный набор энергии (т. е. ограниченный только величиной электрического поля и размерами системы). Существует критическая величина электрического поля, которое ускоряет «типичный» электрон до тепловой энергии на расстоянии, равном длине свободного пробега. Эта величина носит название поля Драйсера (или Драйсеровского поля). При полях, гораздо меньших Драйсеровского («субдрайсеровских»), только небольшая доля самых энергичных среды тепловых электронов (как говорят, с «хвоста» Максвелловского распределения по скоростям) может ускоряться до высоких энергий. Остальные же, т. е. основная часть электронов плазмы, участвуют в таком случае в создании и поддержании стационарного электрического тока.

При полях, гораздо больших Драйсеровского («супердрайсеровских»), наоборот, практически все электроны плазмы могут перейти в режим «убегания» и набрать большие, сверхтепловые энергии. Из этого рассмотрения понятно, что для получения в плазме группы ускоренных частиц нужны электрические поля по крайней мере одного порядка с полем Драйсера, либо превышающие его. В противном случае мы будем иметь дело с обычными электрическими токами, так же как в обычных проводах. Как, чем, когда и при каких условиях создаются такие сильные электрические поля, является предметом очень интенсивного исследования не только физиками Солнца, но и астрофизиками, геофизиками и физиками плазмы. Различные сценарии, в которых создаются условия, благоприятные для ускорения частиц, называют механизмами ускорения: ускорение на ударных волнах, стохастическое ускорение на волнах/турбулентности, бетатронное ускорение и многие другие. На фундаментальном уровне все эти механизмы отличаются друг от друга тем, как именно в них создаются электрические поля, которые в конечном счете и ускоряют заряженные частицы до высоких энергий. Нужно иметь в виду, что наличие достаточно сильного электрического поля (супердрайсеровского или близкого к Драйсеровскому) абсолютно необходимо для эффективного ускорения частиц независимо от того, каким именно механизмом это электрическое поле создается.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В этой статье мы попытались рассказать о Солнце, как об очень динамичном и интересном физическом объекте, в котором известные нам физические

законы иногда поворачиваются к нам совершенно неожиданной стороной. Где мы сталкиваемся с удивительными, не до конца понятыми физическими явлениями, понимание которых важно как для фундаментальной физики, так и для практических нужд человечества.

Разумеется, мы коснулись лишь очень небольшого числа загадок, связанных с Солнцем. На самом деле их, конечно, гораздо больше. Развитие науки, несомненно, приведет к решению существующих сегодня задач и сформулирует новые загадки нашего знакомого – Солнца.

С новыми книгами
Издательства “Наука”
вы можете ознакомиться на сайте
naukabooks.ru



Филаретов В.Ф., Зуев А.В., Губанков А.С.

Управление манипуляторами при выполнении различных технологических операций.

М.: Наука, 2018. – 232 с.

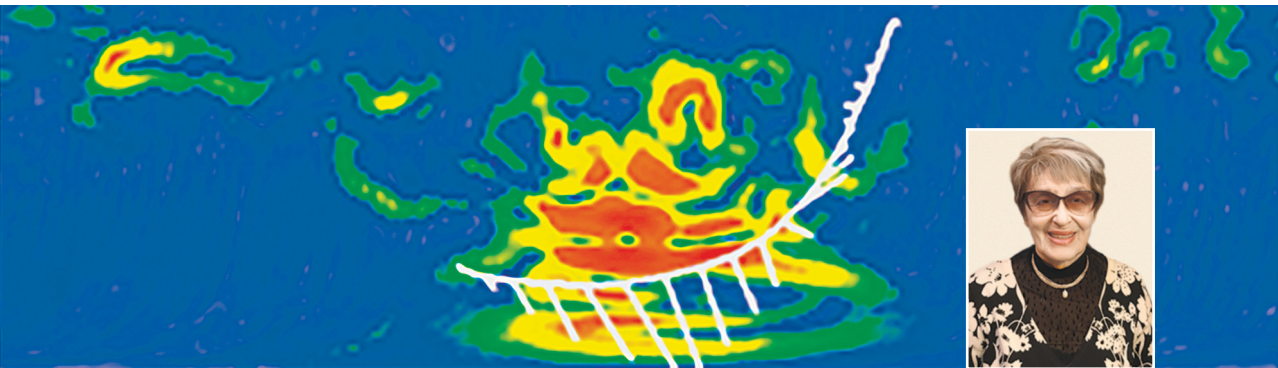
Монография посвящена разработке и исследованию новых методов контурного управления многозвенными манипуляторами, обеспечивающими высокоточное отслеживание рабочими инструментами произвольных пространственных траекторий вдоль сложных поверхностей с максимально допустимой скоростью и одновременным силовым воздействием (возможно, переменным) на эти поверхности (объекты работ).

Предложены методы управления многозвенными манипуляторами в полуавтоматическом режиме с помощью подвижных телекамер, изменяющих пространственную ориентацию своих оптических осей, метод синтеза систем непрерывного диагностирования основных элементов и блоков указанных устройств.

Для научных работников и инженеров, специализирующихся в области управления робототехническими системами, а также для аспирантов и студентов соответствующих специальностей.

Реклама

ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ У МАРСА



БРЕУС Тамара Константиновна,
доктор физико-математических наук

КОТОВА Галина Авраамовна,
кандидат физико-математических наук

Институт космических исследований РАН

DOI: 10.7868/S0044394822030021



В этой статье описана история исследований магнитного поля у планеты Марс, которая продолжается уже около пятидесяти лет. Интереснейшая особенность исследований этой планеты заключается в том, что вопрос о природе измеренного поля многократно закрывался и ставился заново. Данные, получаемые практически каждым новым аппаратом, не способствовали логическому завершению предыдущих миссий, не помогли разобраться, какова же истинная природа магнитного поля Марса. Бурные обсуждения этой проблемы продолжались до самого недавнего времени. В статье приводится новая интерпретация результатов старых миссий – в большой надежде поставить точку в непрекращающихся научных дискуссиях.

Марс и Венера – ближайшие сосед-ки планеты Земля. Венера находится ближе к Солнцу, а Марс дальше от Солнца, и является следующей планетой за Землей. Всегда было интересно понять, отличались ли эти планеты от Земли с самого момента своего образования и отличаются ли сейчас? А если отличаются, то почему? Важно было также ответить, есть ли на них жизнь, и если есть, то в какой форме существовала или существует сейчас?

До начала полетов космических аппаратов (КА) обе планеты исследовались астрономами с помощью телескопов, и уже тогда были получены важные результаты о свойствах атмосфер и поверхностей этих планет. Возникали дискуссии с астрофизиками во время формирования программ космических исследований. Например, один из самых знаменитых астрофизиков И.С. Шкловский утверждал, что не следует затевать дорогостоящие полеты КА к пла-

нетам, чтобы подтвердить результаты, а лучше потратить эти ресурсы на наземные наблюдения, которые не требуют столь больших финансовых вложений. Однако оставалось очень много вопросов, решить которые можно было только космическими экспериментами. Аргумент, что только такие измерения *in situ* смогут верифицировать и прошлые, и будущие астрономические исследования, сыграли решающую роль.

Первые межпланетные станции планировались для полетов на Венеру и Марс. Исследования Венеры начались по инициативе Сергея Павловича Королёва с запуска 4 февраля 1961 года «Венеры-1» – первого в истории человечества КА, предназначенного для исследования другой планеты.

В 1965 году С.П. Королёв передал Георгию Николаевичу Бабакину – главному конструктору НПО им. С.А. Лавочкина (Химки, Московская область) – работы по беспилотным лунным и планетным зондам. НПО имени С.А. Лавочкина под руководством Г.Н. Бабакина добились больших успехов. Например, первая мягкая посадка на Луну КА «Луна-9», первый в мире планетоход «Луноход-1», первый зонд «Венера-4» в атмосфере Венеры. При Г.Н. Бабакине были разработаны и запущены автоматические межпланетные станции «Марс-2» и «Марс-3».

В последние годы изучение Венеры вновь вышло на первые роли практически у всех космических агентств, но довольно долгое время эта планета исследовалась в основном отечественными КА, и Венера считалась «русской планетой». У этой планеты, по общему мнению почти всех исследователей, не оказалось сильного собственного магнитного поля, достаточного для остановки потока солнечного ветра. Этот вывод сделал Венеру очень интересной с точки зрения строения и состава плазменных образований в ее околопланетном

пространстве. Консенсус относительно венерианского магнитного поля был достигнут достаточно быстро, и стала ясна роль токов, текущих в ее ионосфере и создающих индуцированную магнитосферу.

История исследований плазменной оболочки Марса гораздо более драматична и продолжительна. Эта планета вела себя как заколдованная и упорно не желала открывать людям свои секреты, все больше подогревая к себе интерес. Особенный рельеф Марса, который содержит образования, похожие на каналы, снеговые шапки на полюсах и другие структуры всегда вызывали ожидание встречи с неизвестным. Недаром марсиане стали героями сотен фантастических романов от Герберта Уэллса до Рея Брэдбери, Станислава Лема и братьев Аркадия и Бориса Стругацких.

Первые попытки советских исследователей достичь Марса (автоматическая межпланетная станция (АМС) «Марс-1» в 1962 г. и «Зонд-2» в 1964 г.) оказались неудачными, и только 15 июля 1965 г. американский «Маринер-4» впервые пролетел вблизи Марса и передал фотографии планеты. В 1971 г. американская АМС «Маринер-9» и советские АМС «Марс-2» и «Марс-3» стали первыми искусственными спутниками (ИС) Марса.

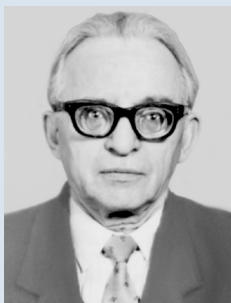
Прежде чем перейти к истории многолетнего состязания в исследованиях Марса, следует рассказать, какие задачи ставились перед этими и последующими миссиями. Помимо фотографирования поверхности с близкого расстояния и изучения атмосферы решено было исследовать магнитное поле планеты и ее плазменную оболочку. Заметим, что наша планета обладает сильным собственным магнитным полем, создающим при взаимодействии с потоком солнечного ветра земную магнитоплазменную оболочку, называемую

магнитосферой. Наличие собственного магнитного поля играет огромную роль в сохранении жизни на Земле и развитии цивилизации. Внутреннее строение планет – наличие у них металлизированного ядра и проводящей жидкой мантии, окружающей ядро, – определяет существование у них магнитного поля. Интересно было узнать, а что происходит с Марсом?

Первый американский КА «Маринер-4» с магнитометром для измерения напряженности магнитного поля и детектором заряженных частиц на борту пролетел около Марса 14–15 июля 1965 г. на расстоянии 9850 км от края изображения планеты и зарегистрировал возмущение магнитного поля. Оно было позднее интерпретировано как пересечение «Маринером-4» ударной волны у Марса. Однако, по мнению автора эксперимента с магнитометром Эдварда Смита (E. Smith), магнитный эффект, который можно было бы связать с планетой, не наблюдался. 14 ноября 1971 г. американский КА «Мари-

нер-9» вышел на орбиту около Марса и стал первым ИС этой планеты. Однако он не предназначался для измерения магнитного поля Марса.

Первые измерения магнитного поля планеты были проведены около 50 лет тому назад на отечественных КА «Марс-2» и «Марс-3», вышедших на околомарсианскую орбиту с примерно одинаковым перицентром 1100 км. КА «Марс-3» был трехосно стабилизирован, а КА «Марс-2» вращался вокруг оси, направленной на Солнце. КА «Марс-3» вышел на орбиту спутника в конце 1971 г. Этот орбитальный аппарат 21 января 1972 г. зарегистрировал сильное (около 27 нТл) и регулярное магнитное поле. КА «Марс-2», также зарегистрировал возрастания поля, приблизительно той же величины. Усиление поля наблюдалось вблизи перицентра в плоскости, перпендикулярной направлению на Солнце, однако определить его ориентацию было невозможно из-за вращения аппарата. Кроме того, измерения проводились



Долгинов Шмая Шлемович (1917–2001). Российский космофизик, лауреат Ленинской премии, доктор физико-математических наук. Автор многочисленных работ по физике планет, планетарных динамо и экспериментов с магнитометром на аппаратах «Марс-2» и «Марс-3». Заведующий отделом исследований магнитных полей планет ИЗМИРАН



Грингауз Константин Иосифович (1918–1993). Советский и российский ученый, лауреат Ленинской премии и Государственной премии СССР, доктор технических наук, создатель радиопередатчика на первом искусственном спутнике Земли, провозгласившем начало космической эпохи. Автор многочисленных открытий, связанных с возникновением структурных границ в космической плазме. С 1971 г. заведовал Лабораторией межпланетной плазмы и околопланетной плазмы в ИКИ РАН

*«Есть ли жизнь на Марсе,
нет ли жизни на Марсе –
науке пока неизвестно»
(из фильма «Карнавальная
ночь», 1956 г.)*

отрывочно всего на четырех орбитах. По этой причине восстановление картины измерений магнитного поля руководитель магнитного эксперимента Ш.Ш. Долгинов с коллегами проводили по данным КА «Марс-3».

Именно после вышеупомянутых измерений, по аналогии с представлениями о возникновении магнитного поля у Земли, объясняемого действием планетарного динамо, это возрастание поля было интерпретировано как собственное дипольное поле планеты.

Следует отметить, что эти измерения в свое время воспринимались как сенсация, и научная общественность сразу перешла к дискуссии о природе измеренного поля и особенностях препятствия, формирующего глобальную картину обтекания планеты потоком солнечного ветра. С разной степенью интенсивности эта дискуссия продолжается и в наши дни. Проблема наличия магнитного поля у Марса не менее стара, чем та, которая еще в 1956 г. была озвучена с новогодней сцены персонажем Сергея Филиппова в кинофильме «Карнавальная ночь».

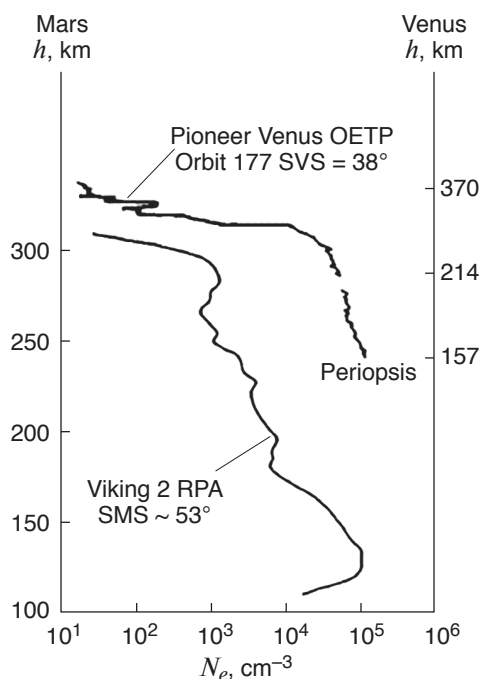
Довольно скоро после этих экспериментов на «Марсе-2» и «Марсе-3» в 1978 г., американский специалист Крис Рассел (С.Т. Russell), ставший позднее одним из лидеров современных исследований физики космоса, пришел к выводу, что КА «Марс-3» не входил в магнитосферу планеты и «наблюдаемое магнитное поле на КА «Марс-3» – это сжатое межпланетное маг-



нитное поле солнечного ветра, «задрапированное» вокруг марсианского препятствия. Хотя К. Рассел и не отрицал возможного наличия у Марса слабого собственного магнитного поля, он, тем не менее, отстаивал гипотезу о несущественности этого поля для взаимодействия с солнечным ветром. Таким образом, возникли две альтернативные гипотезы. Согласно первой, Марс имеет собственное дипольное поле и соответствующую магнитосферу. Согласно второй, взаимодействие солнечного ветра с Марсом происходит подобно тому, как это происходит на Венере.

Рассмотрим для сравнения распределения электронных концентраций с высотой (обозначено $N_e(h)$) по данным аппаратов «Пионер – Венера» в атмосфере Венеры и «Викинг-2» в атмосфере Марса. Резкий спад распределения $N_e(h)$ у Венеры (так называемая ионопауза) виден на высоте 370 км днем, а у Марса аналогичный спад намечается на высоте 300 км. Казалось бы, это сходство свидетельствует о сходстве планет при взаимодействии с солнечным ветром.

Принципиальным для взаимодействия солнечного ветра с планетой является то обстоятельство, что у Марса



Высотные профили электронной концентрации. По вертикальной оси отложена высота (км), по горизонтальной оси – ионная концентрация (cm^{-3}) в ионосферах Марса и Венеры (Slavin J.A., Holzer R.E. The solar wind interaction with Mars revisited // J. Geophys. Res. 1982. V. 87. No. B12, 10285–102961)

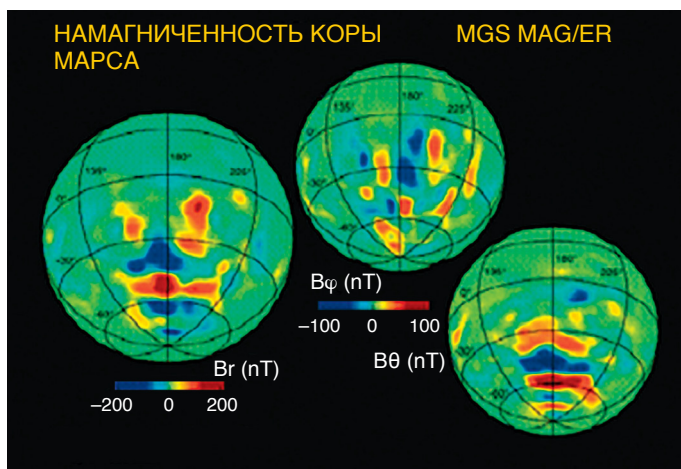
концентрация $N_e(h)$ на два порядка ниже всюду под этой границей (ионопаузой), чем у Венеры. Однако понять и продемонстрировать это обстоятельство удалось не сразу, так как результаты были получены в различных межпланетных миссиях, в различные сезоны года и при различных локализациях измерений. Давление ионосферной плазмы, которое было бы достаточным для отклонения солнечного ветра, отсутствовало. Это обстоятельство убедило многих ученых, которые измеряли магнитное поле Марса, в том, что найденное отклонение обусловлено собственной дипольной магнитосферой планеты (Д. Интрилигатор

(D. Intrilegetter), Э. Смит (E. Smith), Ш. Долгинов, Т. Бреус и К. Грингауз).

Российский КА «Фобос-2» вышел на орбиту искусственного спутника Марса 29 января 1989 г. На этом КА были установлены комплексы приборов для исследования плазмы, энергетических частиц и магнитного поля в межпланетной и околопланетной среде. До перевода КА на круговую орбиту, на 4-х эллиптических орбитах были проведены измерения до высоты 850 км (высота перигея). Наблюдалось возрастание магнитного поля до 20–30 нТл и уменьшение потоков протонов солнечного ветра до уровня чувствительности приборов. По данным «Фобоса-2», с одной стороны, Е.Г. Ерошенко (E. Yeroshenko) с соавторами показали, что направление магнитного поля в долях хвоста зависит от направления межпланетного магнитного поля, аналогично ситуации около Венеры, не имеющей собственного магнитного поля. Другими словами, марсианское препятствие существенно образом связано с токами в марсианской ионосфере, т. е. имеет значительный индуцированный компонент. С другой стороны, М.И. Веригин с соавторами обнаружили, что толщина хвоста марсианской магнитосферы обратно пропорциональна динамическому давлению солнечного ветра в степени $1/6$, что характерно для Земли, имеющей собственное дипольное магнитное поле.

Итак, возникло новое противоречие, но разногласия удалось преодолеть М.И. Веригину с коллегами, которые на основании этих двух фактов предложили гибридную модель взаимодействия солнечного ветра с Марсом. Эта модель основана на представлении о комбинированной природе препятствия, в котором существенную роль играют и планетное магнитное поле, и ионосферная плазма. При этом гипотеза о дипольной природе магнитного

Карты магнитных аномалий на Марсе – три компонента поля, измеренные на круговых орбитах MGS на высоте ~400 км, где цветом (от синего до красного, соответственно значениям, указанным на горизонтальной шкале) показаны участки по мере возрастания интенсивности. Разрешение 1°



поля осталась прежней, поскольку орбиты «Фобоса-2» проходили достаточно высоко над планетой. ф

Далее, 11 сентября 1997 г., американский аппарат MGS (аббревиатура *Mars Global Surveyor*) достиг Марса и начал измерения на орбите ИС планеты.

Измерения магнитного поля на этом аппарате позволили сделать сенсационные открытия в исследованиях Марса. Оказалось, что марсианская кора, в основном в южном полушарии, содержит локальные области огромной протяженности по широте и долготе, которые намагничены настолько сильно, что величина поля в них на порядок величины превосходит все ранее сделанные оценки. Влияние этого поля простирается до высот, превышающих 400 км над поверхностью планеты.

Обратите внимание на то, что северное полушарие планеты практически свободно от аномалий и других проявлений локального ферромагнетизма.

Разумеется, эти результаты вскоре вызвали научные дискуссии о том, как могли возникнуть такие области намагниченности. По-видимому, сразу после или непосредственно во время формирования у планеты было магнитное поле, но затем оно прекратило свое существование, оставив след в остаточ-

ной намагниченности пород в южном полушарии планеты, обладающих ферромагнитными свойствами.

На картах марсианских магнитных аномалий видны характерные особенности магнитных полей, подобные тем, которые возникают на Земле в местах тектонических разломов.

Тектоникой плит можно объяснить также ряд геологических особенностей Марса. Это и вулканы обширного плато Тарсис, и гигантская система каньонов долины Маринера.

На Земле гипотеза о том, что намагниченные тектонические плиты дрейфовали в течение сотен тысяч лет, создавая тектонические разломы и образуя в итоге современный геологический ландшафт, уже давно получила подтверждение. Магнитное поле Земли изменяет свою ориентацию несколько раз в миллион лет, и в результате различные по времени разломы имеют различное направление магнитных полей. Нечто подобное могло происходить и на Марсе. В конечном счете, образовались огромные и протяженные области коры с противоположной ориентацией магнитного поля. По словам Марио Акунья (Mario Acuña), ответственного за измерения с помощью магнитометра на аппарате MGS, «Ко-

нечно, это не исчерпывающий геологический анализ, но тектоника плит действительно дает нам последовательное объяснение некоторых из марсианских явлений». То, что Марс оказался «однобоким» с севера и юга, связывают с возможным ударом или столкновением с каким-то другим небесным телом, крупным метеоритом или планетой, деформировавшим и сдвинувшим часть коры с севера на юг. Американские специалисты (М. Акунья, Дж. Коннерни (J.E.P. Connerney), Н. Несс (N.F. Ness) и др.) пригласили российских ученых, сотрудников Института космических исследований РАН, заняться совместной интерпретацией их измерений, проведенных с помощью магнитометра/электрометра на *MGS*. Сотрудничество оказалось плодотворным, так как нам удалось показать, что аномалии оказывают глобальное влияние на взаимодействие солнечного ветра с Марсом.

Была построена карта угла магнитного поля относительно местного зенита по данным *MGS* и аналогичная карта уже только для центрального осевого диполя.

Области малых углов относительно местного зенита ($< 30^\circ$) представляют те области, где магнитный поток через сферическую оболочку направлен от планеты. Эти области рассматриваются как «эффективные источники» потока магнитного поля. В областях больших

углов ($>150^\circ$) магнитный поток направлен к планете. Такие области действуют как «эффективные приемники» потока, где магнитный поток «поглощается» планетарной поверхностью. Для углов от 60° до 120° потоки магнитного потока направлены в основном от «источника» до «приемника». При обозначении углов разными цветами просматривается значительная цветовая асимметрия между южным и северным полушариями Марса. Это напоминает цветовую асимметрию на нижней части рисунка, где угол с местным зенитом нанесен на карту для дипольного магнитного поля. Видимая цветовая асимметрия вверху рисунка свидетельствовала о существовании значительной дипольной составляющей потока крупномасштабного поля, связанного с глобальной асимметрией намагниченности марсианской коры.

Таким образом, оказалось, что именно крупномасштабные аномалии участвуют в формировании магнитосферы Марса и влияют на его взаимодействие с солнечным ветром. Американскими и европейскими учеными Д. Крайдером (D. Crider), Д. Виньесом (D. Vignes), Д. Митчеллом (D.L. Mitchell), Р. Лундиным (R. Lundin), Дж. Тротиньоном (J.G. Trotignon) и нашими специалистами А. Крымским, Т. Бреус, Э. Дубининым, М. Веригиным, Г. Котовой и др. было опубликовано множество работ,



Марио Акунья (Mario Acuña) (1940–2009). Научный сотрудник Центра космических полетов имени Годдарда (НАСА), работавший в отделах космической плазмы и планетных магнитосфер, а затем старший астрофизик планетных миссий. Был руководителем экспериментов с магнитометром – рефлектометром в миссии MGS

подтверждающих этот вывод. Оказалось очень интересным и важным, что результаты «Фобоса-2» в интерпретации М. Веригина, Г. Котовой и соавторов, предложившими гибридную модель магнитосферы Марса, были первыми свидетельствами сложной природы марсианского препятствия солнечному ветру.

И все-таки, во всех этих публикациях не обсуждалась природа измеренного в 1972 г. аппаратом «Марс-3» магнитного поля. В первой публикации Долгинова, Ерошенко и Жузгова в Докладах Академии Наук содержалось заключение: «Марс обладает собственным магнитным полем с дипольным моментом, равным 2.4×10^{22} гаусс $\times$ см³, и напряженностью на магнитном экваторе порядка 0,6 нТл. Вероятно, наблюдаемое поле имеет палеомагнитную природу», то есть создано магнитными аномалиями. Последняя фраза этого заключения, однако, тогда не была замечена. С тех пор как-то по умолчанию предполагалось, что это собственное дипольное поле Марса, но какова его роль в новых представлениях о гибридной модели магнитосферы не обсуждалось.

Одним словом, нашей группой решено было разобраться в том, что же за поле столь значительной величины измерял «Марс-3» и почему не могло

(а)
Угол с локальным зенитом

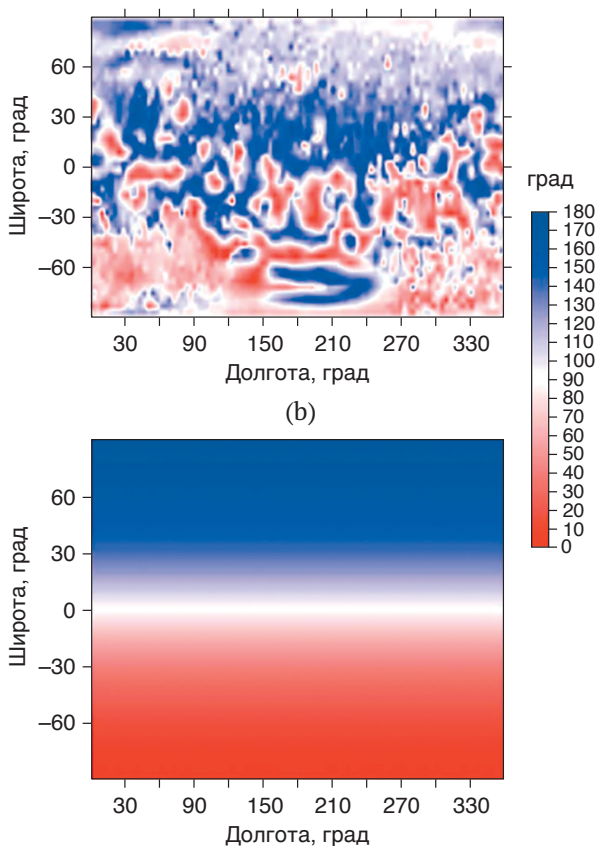
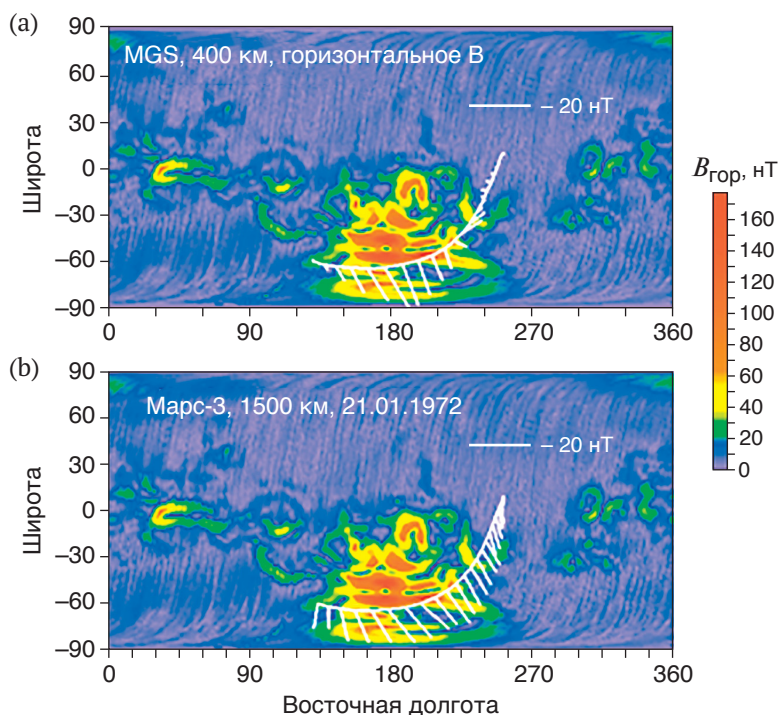


Рис. 7. Карта распределения величины угла магнитного поля относительно местного зенита по данным MGS (а) и аналогичная карта для центрального осевого диполя (b). Области малых углов относительно местного зенита ($<30^\circ$) обозначены красным цветом и представляют области, где магнитный поток через сферическую оболочку направлен от планеты («эффективные источники» потока). Области больших углов относительно местного зенита ($>150^\circ$) обозначенных синим цветом, здесь магнитный поток направлен к планете («эффективные приемники» потока). Области углов от 60° до 120° обозначены бледно-красным или бледно-синим цветом, переходящим в белый – это магнитный поток, направленный в основном от «источника» до «приемника»

быть ошибки в его оценках, сделанных в то время.

Тот факт, что пролет «Марса-3» проходил именно над областью наибольшей намагниченности коры, а также явное подобие полей однозначно сви-



Сложное распределение горизонтальной составляющей магнитного поля марсианской коры на высоте около 400 км над поверхностью планеты, полученное из измерений MGS. Плавные белые линии представляют собой часть траектории «Марс-3» в тех же координатах «ареографическая долгота – ареографическая широта» в области вблизи районов наибольшего сближения аппарата с планетой. а – Белые стрелки показывают горизонтальную составляющую магнитного поля, измеренного MGS вдоль траектории Марс-3, усредненную по 15 градусов; б – белые стрелки – тот же компонент, полученный при измерениях магнитного поля на «Марсе-3»

детельствуют о том, что орбитальный аппарат «Марс-3» наблюдал сильное и регулярное магнитное поле над областью самой сильной намагниченности марсианской коры в южном полушарии планеты, обнаруженной по измерениям MGS. Таким образом, «Марс-3» обнаружил магнитное поле намагниченной марсианской коры в начале 1972 г., примерно за 25 лет до MGS.

Вот и конец этой длительной и почти детективной истории исследований магнитного поля Марса, который наступил в 2021 г. Хотелось бы отметить, что кроме Веригина, Бреус и Котовой из Института космических исследова-

ний, в некоторых исследованиях нашей группы и, в особенности, на последней их стадии принимал активное участие американский специалист Джеймс Славин (J.A. Slavin) из университета в Эн Арборе (штат Мичиган).

В заключение можно сказать, что по прошествии пятидесяти лет после первых измерений магнитного поля у Марса и многочисленных работ, посвященных этой проблеме, удалось прийти к следующему заключению. Локальные магнитные аномалии определяют характер его взаимодействия с солнечным ветром, и характер этого взаимодействия с солнечным ветром

сходен и с венерианским, и с земным. Так, при высоких давлениях солнечного ветра возникает индуцированная магнитосфера, подобно тому, как это происходит на Венере, а при низких динамических давлениях солнечного ветра наблюдается магнитосфера, подобная земной.

Рекомендованная литература

Бреус Т.К., Грингауз К.И. О природе препятствий, тормозящих солнечный ветер вблизи Венеры и Марса и об особенностях взаимодействия солнечного ветра с атмосферами этих планет // *Космич. исслед.* 1980. Т. 18, № 4. С. 587–599.

Бреус Т.К., Крымский А.М. Палеомагнитные поля Марса и их взаимодействие с солнечным ветром // *Космич. исслед.* 2017. Т. 55, № 4. С. 1–14.

Verigin M.I., Kotova G.A., Remizov A.P. et al. Evidence of the influence of equatorial Martian crustal magnetization on the position of the planetary magnetotail boundary by Phobos 2 data // *Adv. Space Res.* 2001. V. 28, № 6. P. 885–889.

Verigin M.I., Kotova G.A., Shutte N. et al. Quantitative model of the Martian magnetopause

shape and its variation with the solar wind Ram pressure based on Phobos 2 observations // *J. Geophys. Res.* 1997. V. 102, № 2. P. 2147–2155.

Веригин М.И., Котова Г.А., Ремизов А.П. и др. Форма и положение околопланетных ударных волн // *Космич. исслед.* 1999. Т. 37, № 1. С. 38–43.

Розенбауэр Х., Шютте Н., Апати И. и др. Первые результаты измерений ионов марсианского происхождения и обнаружение плазменного слоя в магнитосфере Марса по данным эксперимента ТАУС на КА Фобос-2 // *Письма в Астроном. журн.* 1990. Т. 16, № 4. С. 368–377.

Gringauz K.I. Interaction of solar wind with Mars as seen by charged particle traps on Mars 2,3 and 5 satellites // *Rev. of Geophys. and Space Phys.* 1976. V. 14, № 3, P. 391–402.

Gringauz K.I. A comparison of the magnetospheres of Mars, Venus and the Earth // *Adv. Space Res.* 1981. V. 1, No. 1, P. 5–24.

Gringauz K.I., Verigin M.I., Luhmann J.G., Russell C.T., and Mihalov J.D. On the Compressibility of the Magnetic Tails of Mars and Venus // *Plasma environments of non-magnetic planets, COSPAR Coloquia Series*, 1993. V. 4, ed. by T.I. Gombosi, Pergamon Press, Oxford-New York-Seoul-Tokyo, P. 265–270.



А вы отправили обязательный экземпляр?

Издательство «Наука» предлагает организациям
и независимым издателям услугу по отправке
Обязательного Электронного Экземпляра
в Российскую государственную библиотеку
и Российскую книжную палату

При размещении научных, научно-популярных книг и журналов в Электронной библиотечной системе
Издательства «Наука» (libnauka.ru) данную услугу мы предоставляем бесплатно

Задать вопрос и узнать о стоимости услуги вы можете по адресу cee@naukaran.com

Реклама

КОСМИЧЕСКИЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ В ФОРМИРОВАНИИ КЛИМАТА ЗЕМЛИ

АВАНЕСОВ Генрих Аронович,

доктор технических наук, профессор
Институт космических исследований РАН

МИХАЙЛОВ Михаил Васильевич,

доктор технических наук
Ракетно-космическая корпорация «Энергия»

DOI: 10.7868/S0044394822030033

Изменения климата и связанные с ними проблемы касаются всех без исключения жителей нашей планеты. Авторы статьи, работая всю жизнь в области космических исследований Земли и планет Солнечной системы, не могут остаться в стороне от идущей в этой области дискуссии. В своих рассуждениях, предположениях и выводах авторы, с одной стороны, опираются на известные результаты палеонтологических исследований климата, а с другой – на собственный опыт разработки и эксплуатации съемочных и навигационных систем в космосе. Кроме того, в этой статье отражен и опыт проектирования околоземных и межпланетных траекторий полета космических аппаратов в поле тяготения Солнца и планет Солнечной системы.

Палеонтологические данные указывают на то, что потепление климата началось сразу после окончания Большого ледникового периода примерно 30 тыс. лет тому назад.

Расчеты параметров траекторного движения Земли показывают, что в тот же период началось, продолжается в наше время и сохранится в обозримом будущем постепенное уменьшение эксцентриситета орбиты Земли, сопровождающееся уменьшением наклона оси ее вращения. Предполагается, что указанные особенности орбитального движения Земли в сочетании с вариациями солнечной активности способны создавать условия для глобальных изменений климата.

В статье делается вывод о том, потепления и похолодания климата, многократно происходившие в прошлом, обязательно будут повторяться в будущем. К этому должна готовиться промышленная инфраструктура, транспортные системы и вся среда обитания. При этом поставленная Парижским соглашением задача снижения промышленных выбросов парниковых газов представляется авторам очень важной, но ее решение вряд ли сможет привести к замедлению темпа роста среднегодовой температуры на нашей планете.

ВОЗНИКНОВЕНИЕ И ОСОЗНАНИЕ АНТРОПОГЕННОГО ВЛИЯНИЯ НА КЛИМАТ

Наши далекие предки, выйдя из первобытного состояния, несколько тысячелетий жили в ладу с природой до тех

пор, пока первая промышленная революция, в частности, изобретение паровой машины (Дж. Уатт, 1774–1784 гг.), не положила начало нарушению этого равновесия. Паровые машины начали активно внедряться в разные области хозяйственной и промышленной деятельности. Так началась индустри-

ализация. Сжигание углеводородного топлива привело к растущему воздействию человека на окружающую среду, которое стало заметным уже к началу XX в., а к его середине приобрело очевидный характер. Вскоре проблемы климата и состояния природной среды стали предметом международных дискуссий и соглашений. Первое крупное событие в этой области – Стокгольмская конференция ООН 1972 г. Она активировала деятельность государств по охране окружающей среды на национальном и международном уровнях. Затем последовали Венское соглашение об охране озонового слоя от 1988 г., Киотское соглашение по климату от 1997 г. и Парижское соглашение по климату от 2015 г.

Заявленная цель Парижского соглашения – не допустить превышения глобальной среднегодовой температуры на планете к 2100 г. более чем на 2 °C от доиндустриального уровня 1850–1900 гг. В настоящее время среднегодовая температура превысила уровень того времени на 1.2 °C. Таким образом, Парижским соглашением фактически утверждалось, что причиной повышения среднегодовой температуры на планете является созданная человечеством промышленность, основой которой во многом является использование углеводородного топлива. Сжигание угля, газа и нефтепродуктов в топках электростанций, в двигателях самолетов, морских и речных судов а также бесчисленных автомобилей привело к выбросу в атмосферу огромного количества углекислого газа (CO₂), что и стало причиной повышения среднегодовой температуры на нашей планете.

Очередной климатический саммит прошел в шотландском городе Глазго с 31 октября по 12 ноября 2021 г. Он подтвердил приверженность мирового сообщества следовать целям и зада-

чам, поставленным Парижским соглашением.

Предмет для беспокойства действительно существует. Еще в преддверии промышленной революции человек не показал себя рачительным хозяином планеты, успев за исторически короткое время серьезно загрязнить Мировой океан, земную атмосферу и даже замусорить околоземное космическое пространство. Все это сейчас уже осознано наукой и, отчасти, обществом. Человечеству придется бороться с последствиями своей неразумной деятельности.

Однако не стоит преувеличивать могущество человечества. Человек не властен над вулканическими процессами в земной коре. Не может противостоять, например, астероидной опасности. Не способен установить прочный мир между странами и народами. Возможно, все это изменится в будущем, но можно не сомневаться в том, что человеку никогда не удастся управлять активностью Солнца или вмешиваться в действие закона Всемирного тяготения. Именно Солнце и непререкаемый закон его гравитационного взаимодействия с планетами Солнечной системы играют главную роль в жизни Земли и ее обитателей, влияя, в том числе, и на климат.

СОЛНЦЕ, СОДЕРЖАНИЕ CO₂ В АТМОСФЕРЕ И ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ФАКТОР

В составе атмосферы Земли лишь около 1% относится к парниковым газам. Среди них основными являются водяной пар (H₂O), углекислый газ (CO₂), метан (CH₄) и озон (O₃). Парниковые газы обуславливают величину среднегодовой температуры приземного воздуха на нашей планете равной +14.8 °C. В их отсутствии среднегодовая температура составила бы –19.5 °C.

Газовый состав атмосферы Земли

Азот – 78%

Кислород – 20.9%

Смесь газов – 1.1% (озон, аргон, неон, гелий, метан, криптон, водород, ксенон, углекислый газ, водяной пар).

Парниковые газы:

Газ	Формула	Содержание (%)
Водяной пар	H_2O	36–72
Углекислый газ	CO_2	9–26
Метан	CH_4	4–9
Озон	O_3	3–7
Оксид азота	N_2O	–

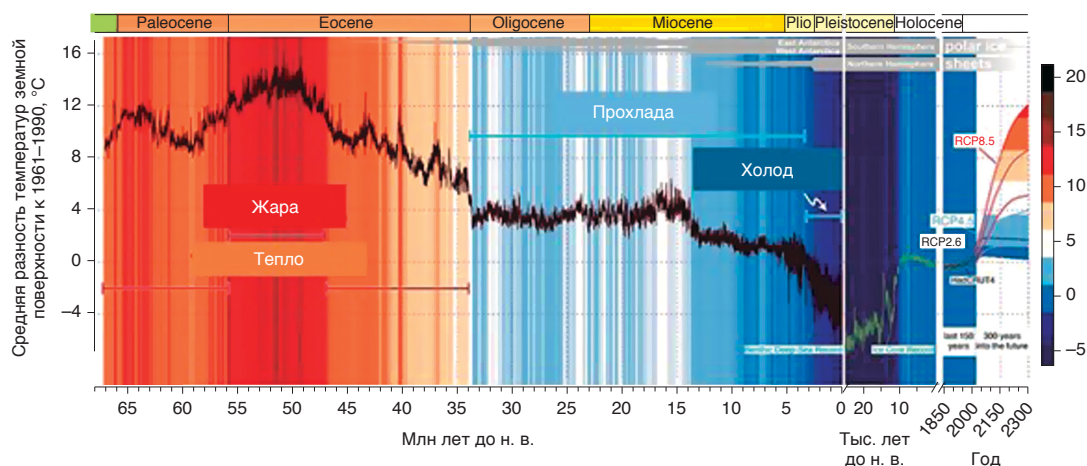
Парниковые газы отличаются от других составляющих земной атмосферы тем, что они прозрачны для инфракрасного солнечного излучения видимого и ближнего диапазонов и не прозрачны для теплового излучения. Таким образом, солнечное излучение свободно доходит до земной поверхности, а идущее от нее тепловое излучение задерживается. Благодаря парниковым газам на Земле поддерживается комфортная среднегодовая температура +14.8 °C (в 2020 г.). Без парниковых газов среднегодовая температура на Земле была бы очень низкой, –19.5 °C

Среди парниковых газов CO_2 занимает не главное место. Но именно CO_2 Парижское соглашение по климату уделило особое внимание. И это не случайно, именно CO_2 в быстро возрастающем количестве поступает в атмосферу в результате повсеместного развития промышленного производства. Особенно сильно ухудшилась ситуация за последние 30 лет. За это время многократно выросло промышленное производство в Китае, Индии, во всей Юго-Восточной Азии. Огромное число

людей пересело с велосипедов на автомобили и мотоциклы. Резко возрос объем выбросов CO_2 в атмосферу. Одновременно на планете повысилась среднегодовая температура.

Содержание CO_2 в атмосфере планеты и ее среднегодовая температура связаны друг с другом. Вопрос лишь в том, что первично. Парижское соглашение отражает возобладавшую на данный момент точку зрения о вине человека: увеличение промышленных выбросов CO_2 привело к повышению среднегодовой

Круговорот углерода в природе – это процесс, посредством которого углерод циркулирует между атмосферой, гидросферой, литосферой и биосферой (живыми организмами). Растения забирают углекислый газ из воздуха и используют его для синтеза питательных веществ. Затем животные едят растения, и углерод частично накапливается в их телах, а частично выделяется в виде углекислого газа при дыхании. Углерод снова возвращается в атмосферу в виде углекислого газа при сжигании древесины и ископаемого топлива или при разложении мертвых организмов.



Изменение среднегодовой температуры Земли за последние 66 млн лет

температуры на планете. Однако далеко не все специалисты, работающие в разных областях исследования Земли, согласны с этим утверждением.

Поскольку признанная Парижским соглашением причина повышения среднегодовой температуры на Земле считается общепризнанной, поясним иную точку зрения. Она заключается в том, что, наоборот, вызванное естественными причинами повышение температуры привело к увеличению содержания в атмосфере CO_2 .

Авторы статьи исходят из предположения, что идущее на протяжении последних 20–30 тысячелетий потепление климата стало возможным в результате начавшегося тогда же постепенного уменьшения эксцентриситета орбиты Земли и наклона оси ее вращения по отношению к плоскости эклиптики.

О том, что потепление началось сразу после окончания Большого ледникового периода, убедительно говорят палеонтологические исследования древнего и близкого к современному климата планеты.

В результате длительной работы группы специалистов по климату из международного проекта *CENOGRID*

(*CENOzoic Global Reference benefic foraminifera carbon and oxygen Isotope Dataset*) был построен график изменения среднегодовой температуры Земли за последние 66 млн лет.

Интересны возможные сценарии дальнейшего развития событий, разработанные Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК). Так, в случае полного бездействия, реалистичным оказывается сценарий *RCP8.5* (*Representative Concentration Pathway 8.5*). Цифры обозначают так называемый радиационный форсинг (radiative forcing), который является увеличением полного притока излучения (коротковолнового и длинноволнового) к поверхности Земли в ваттах на квадратный метр вследствие увеличения концентрации парниковых газов. В этом случае среднегодовая температура планеты к 2100 г. вырастет на 2.4–4.8 °C по сравнению с периодом 1961–1990 гг.

Более оптимистично выглядят сценарии *RCP4.5* и *RCP2.6*. В этом случае повышение температуры составит 1.1–2.6 и 0.3–2.7 °C соответственно.

Как следует из графика, приведенного на рисунке, самое крупное снижение

Биографическая справка

Милутин Миланкович (28 мая 1879 – 12 декабря 1958 гг.), австро-венгерский, сербский гражданский инженер, климатолог, геофизик, астрофизик и популяризатор науки. Известен теорией ледниковых периодов. Дал оценку климатическим условиям на других планетах земной группы. Разработал новоюлианский календарь.



температуры на планете началось около 5 млн лет назад. Оно продолжалось около 2.5 млн лет и стало причиной Большого ледникового периода, который имел примерно такую же продолжительность. За это время среднегодовая температура упала на 5 °С. Затем, когда причина глубокого похолодания отпала, начался быстрый рост температуры. Всего за 20–30 тыс. лет среднегодовая температура вернулась к доледниковым значениям. Ничего подобного в предшествующие 60 млн лет на планете не происходило.

Введенное для удобства восприятия различие масштабов горизонтальных шкал для изображения прошлого и будущего создает иллюзию симметрии происходивших процессов. В едином же масштабе становится очевидным, что все последние 30 тыс. лет Земля выходила из Большого ледникового периода, и все похолодания и потепления климата последних тысячелетий окажутся «незначительными» событиями, которые наложены на общую тенденцию к росту среднегодовой температуры.

В последние 2 тыс. лет в истории нашей планеты ясно выделяются четыре

сменяющих друг друга климатических цикла: Римский климатический оптимум (0–400 гг.), Климатический пессимум раннего средневековья (400–1000 гг.), Средневековый климатический оптимум (1000–1300 гг.) и Малый ледниковый период (1300–1850 гг.).

В Малом ледниковом периоде выделяются три вековых цикла солнечной активности: минимум Вольфа (1280–1340 гг.), минимум Шпёлера (1450–1540 гг.) и минимум Маундера (1645–1715 гг.). Вековые циклы солнечной активности имеют продолжительность 70–100 лет. Они выражаются в виде модуляции 11-летних солнечных циклов.

Среди основных внешних воздействий, приводящих к изменениям климата, в этот период главными считаются следующие: изменения орбиты Земли (циклы Миланковича), вариации солнечной активности, вулканические выбросы и другие естественные процессы.

Не исключено, что начавшееся в 80-х гг. прошлого века снижение солнечной активности станет очередным вековым циклом подобным минимуму Маундера.

В работах Главной астрономической обсерватории (ГАО) РАН прямо говорится, «Повышение концентрации парниковых газов – не причина, а напротив, естественное следствие роста температуры, обусловленное длительным повышением величины солнечной постоянной. Рост концентрации CO_2 в атмосфере происходит с запаздыванием от момента начала глобального потепления на время, необходимое для прогрева Мирового океана...»

В этих же работах ГАО РАН, исходя из наблюдений активности Солнца, приводится прогноз очередного похолодания климата Земли к середине этого века и наступления очередного 200-летнего цикла глобального потепления в начале XXII в.

Рассмотрим детали роста содержания CO_2 в атмосфере Земли в зависимости от вариаций солнечной активности в период с 1850 г. по наше время. Начиная с 1850 г., который считается одновременно датой окончания Малого ледникового периода и начала индустриализаций, на протяжении 110 лет (с 1850 по 1960 гг.) идет монотонный рост содержания CO_2 в атмосфере. Ход температуры при этом имеет колебательный характер с тенденцией к росту.

До 1940 г. рост среднегодовой температуры хорошо коррелирует с солнечными вариациями. С 1940 по 1970 г. рост температуры атмосферы прекращается, а рост содержания CO_2 в атмосфере продолжает расти. Заметный рост концентрации CO_2 начинается в 1960 г., когда наблюдается некоторое снижение солнечной активности. Рост температуры возобновляется в 1970 г. с задержкой по

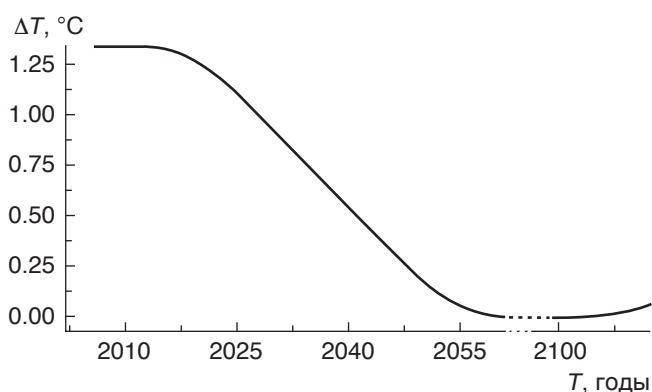
Солнечная постоянная

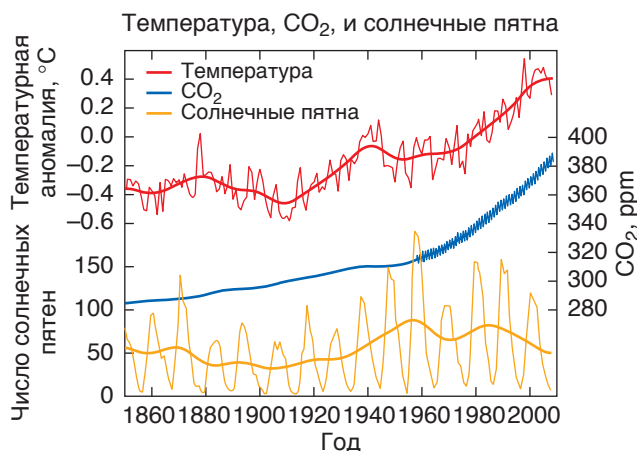
С началом спутниковых измерений стало понятно, что общая солнечная радиация, получившая название «солнечная постоянная», на самом деле таковой не является. Она изменяется за 11-летний период солнечной активности примерно на 0.1%. Например, по данным NASA в период солнечного минимума 2008 г. общая солнечная радиация составила $1360.8 \pm 0.5 \text{ Вт/м}^2$, в то время как в 90-х гг. прошлого века она была больше и составляла $1365.4 \pm 1.3 \text{ Вт/м}^2$. Источник: <https://earth.gsfc.nasa.gov/climate/research/solar-radiation>

отношению к росту CO_2 примерно на 10 лет, и перестает коррелировать с солнечными вариациями. Кроме того, на графике хорошо видно начавшееся в середине 80-х гг. прошлого века снижение солнечной активности. Вполне возможно, что это предвестник очередного похолодания, о котором предупреждает нас ГАО РАН.

Из всего вышеизложенного становится понятно, что периоды потеплений и похолоданий климата неоднократно повторялись в прошлом и обязательно будут происходить в будущем.

Прогноз глубокого похолодания климата ГАО РАН к середине XXI в.





Рост содержания CO₂ в атмосфере в зависимости от вариаций солнечной активности. Источник: Lelend Mcinnes, английская Википедия 2009 г.

Понятно и другое. Проблема изменения климата действительно существует, и, независимо от вызвавших ее причин, необходимо принимать меры, обеспечивающие существование и дальнейшее развитие человеческого сообщества. При этом человек на данном этапе повинен лишь в том, что его деятельность, возможно, ускорила процесс потепления.

ОСОБЕННОСТИ ОРБИТАЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ЗЕМЛИ И ЦИКЛЫ МИЛАНКОВИЧА

Уже в середине XIX в. наука пришла к выводу о том, что климат на планете неоднократно менялся, причем в последний раз в совсем недалеком прошлом. Накрывший Европу Малый ледниковый период датируется XIV–XIX вв. Тогда длительное, но не очень сильное похолодание связывали с замедлением течения Гольфстрим. Знали в то время и о Большом ледниковом периоде, случившемся в далеком прошлом. Таким образом, медленное повышение среднегодовой температуры

рассматривалось в XIX в., и в первой половине XX в., как естественное явление, указывающее на выход из многовекового похолодания.

Наука XIX – начала XX вв. уже располагала обширными знаниями в области океанологии, климатологии и астрономии. Столь обширными, что их обобщение позволило ученому сербского происхождения Милутину Миланковичу создать стройную теорию, объясняющую изменчивость климата Земли. Свою теорию Милан-

кович изложил в книге «*Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата*». В начале 30-х гг. XX в. книга была издана в Европе, а 1939 г. была переведена на русский язык и издана в СССР.

Суть теории Миланковича заключается в следующем. Из-за непрерывного возмущения орбиты Земли, вызываемого ее гравитационным взаимодействием с Солнцем, Луной и другими планетами Солнечной системы, Земля совершает сложное движение, приводящее к повторяющимся периодам похолоданий и потеплений климата. В настоящее время изложенная в книге теория известна как циклы Миланковича. Современные знания и вычислительные возможности позволяют развивать и детализировать теорию Миланковича.

Очевидно, что одним из определяющих факторов формирования климата Земли являются параметры взаимного движения Земли и Солнца. Из них наиболее значимыми являются три:

- среднее расстояние от Земли до Солнца;
- угловая скорость вращения Земли;

– наклонение оси вращения Земли к плоскости орбиты Земли (эклиптики).

Среднее расстояние до Солнца определяет величину попадающего на Землю потока излучения. При большем расстоянии, как, например, у Марса, климат на Земле был бы недопустимо холодным, а при меньшем, как у Венеры, – недопустимо жарким. Земле повезло – при существующем среднем расстоянии 150 млн км средняя температура ее поверхности составляет $+14.8^{\circ}\text{C}$, что наиболее благоприятно для развития жизни.

Угловая скорость вращения Земли определяет смену дня и ночи. И здесь Земле повезло: угловая скорость 1 оборот за 24 часа обеспечивает равномерное распределение поступающего от Солнца излучения между дневной и ночной сторонами планеты, допуская лишь незначительные колебания температуры.

На Луне, где полный оборот вокруг оси совершается за 27 суток, дневная температура близка к значению $+120^{\circ}\text{C}$, а ночная достигает величины -120°C .

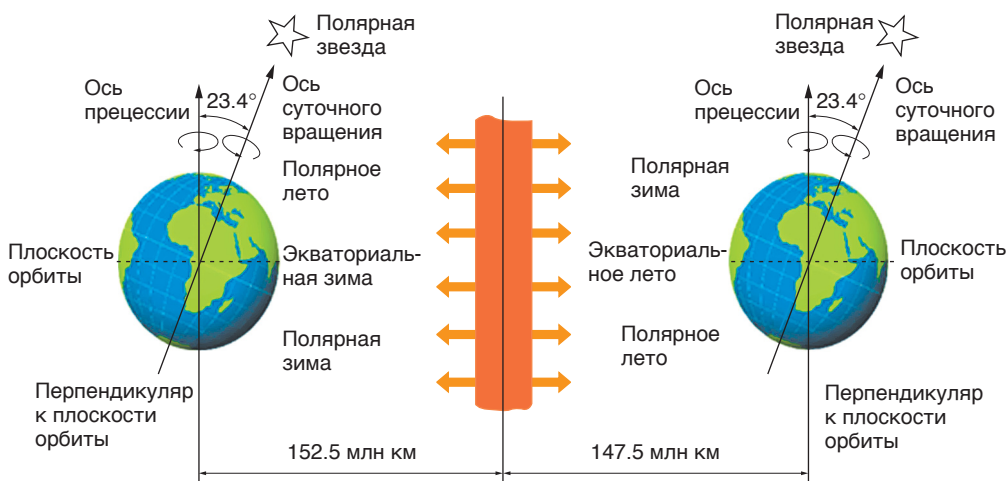
Наклон оси вращения является причиной смены времен года. Если бы на-

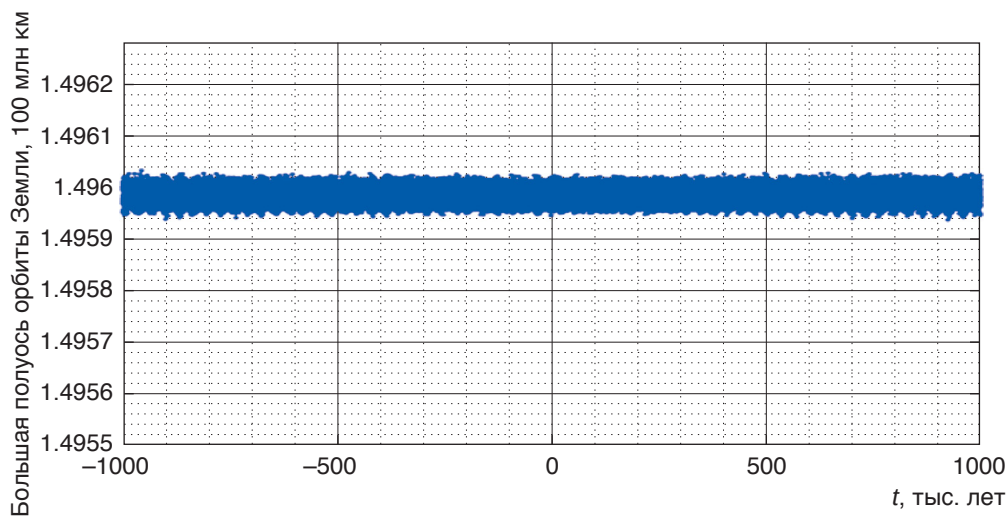
клон был равен 0° , то времена года отсутствовали бы, увеличение же наклона привело бы к большему контрасту между летом и зимой.

Привычные времена года – зима, весна, лето, осень – характерны для высоких широт, поэтому носят название полярных времен года. Мало кто знает, что помимо этих традиционных времен года существует еще один, который можно было бы назвать экваториальным временем года.

Дело в том, что орбита Земли имеет форму эллипса, и когда планета находится в окрестности перигелия (экваториальное лето), расстояние до Солнца уменьшается и поток излучения от Солнца увеличивается. И наоборот, в окрестности апогелия (экваториальная зима), расстояние до Солнца увеличивается и поток излучения уменьшается. Разность потоков экваториального лета и зимы сегодня при эксцентриситете орбиты Земли 0.017 составляет 7%. Увеличение эксцентриситета орбиты, которое было в прошлом, и когда-нибудь повторится в будущем, до максимального значения 0.06 увеличит разницу почти в три с половиной раза, т. е. до 27%.

Экваториальные и полярные времена года





Вариации большой полуоси орбиты Земли в зависимости от времени (0 на графике 2000 г.)

Из-за взаимного гравитационного влияния тел Солнечной системы их орбиты не являются постоянными. Меняются и параметры орбиты Земли, и ее наклонение, что не может не сказываться на изменении потока солнечного излучения, приводящего к изменению климата. Миланкович был первым, кто попытался математически связать изменение параметров движения Земли с изменением ее климата. Рассмотрим, как по результатам современных расчетов меняются во времени эти параметры.

Как отмечалось выше, одним из главных параметров, определяющих климат Земли, является среднее расстояние до Солнца, называемое главной полуосью орбиты a . Среднее значение величины большой полуоси постоянно, вековой уход ее величины за ± 1 млн лет отсутствует. Однако размер большой полуоси совершает колебания около среднего значения величины $10^{-5}a$.

Если рассмотреть изменения большой полуоси орбиты на сорокалетнем интервале времени (время 0 соответ-

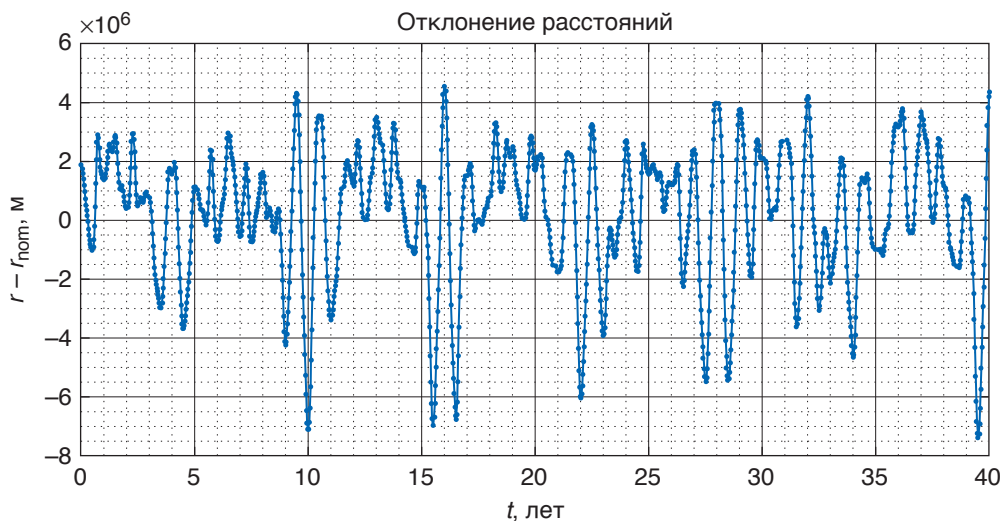
ствует январю 2000 г.), то видны шестилетние циклы «биения» большой полуоси, приводящие к некоторому изменению инсоляции. Влияние этих малых колебаний потока мощности солнечного излучения на климат Земли еще требует исследования.

На отрезке времени 420 тыс. лет эксцентриситет орбиты Земли меняется в диапазоне примерно от 0.005 до 0.05.

На данный момент времени значение эксцентриситета составляет величину $e = 0.017$.

На этом же интервале времени 420 тыс. лет изменение наклона оси вращения Земли происходит с периодом около 40 тыс. лет в диапазоне от 22° до 24.5° . Основной причиной изменения наклона оси являются колебания плоскости эклиптики из-за гравитационного возмущения движения Земли от планет Солнечной системы.

Есть две причины относительной прецессии. Во-первых, это прецессия оси вращения Земли в гравитационном поле Солнца (при слабых возмущениях от Луны и планет) с периодом около



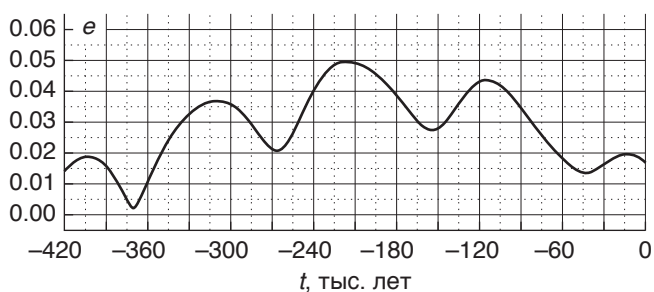
Отклонение реального расстояния от Земли до Солнца относительно среднего эллипса орбиты на период от 2000 до 2040 гг.

26 тыс. лет. Во-вторых, это прецессия эллипса орбиты в плоскости эклиптики из-за влияния планет с переменным периодом около 140 тыс. лет. Прецессия оси Земли и плоскости эллипса «идут» навстречу друг другу.

Не многие знают и понимают роль прецессии в формировании климата нашей планеты, хотя об этом знали еще в древней

Греции и в Египте. Период прецессии Земли относительно звезд в 25 920 лет они называли Великим или Платоновым годом. Согласно Платону, древнегреческому философу, жившему в IV в. до н.э., это срок существования человеческой цивилизации, который начинается со времени положения оси вращения Земли в знаке Льва. Платонов месяц длится 2160 лет.

В результате прецессии земная ось, сохраняя близкий к 23.5° угол наклона относительно нормали к плоскости эклиптики, совершает вращатель-



Эксцентриситет орбиты Земли в угл. град (0 на графике 2000 г.)

ное движение вокруг перпендикуляра к ней в западном направлении. При этом изменяется и угловое положение каждой площадки по отношению к Солнцу.

За последние 420 тыс. лет период прецессии изменяется в диапазоне от 13 до 26 тыс. лет. Скорость прецессии возрастает для малых значений эксцентриситета. Период текущего цикла прецессии составляет 22 тыс. лет, следующего цикла – 14 тыс. лет.

Каждому циклу прецессии соответствуют свои значения эксцентрисите-

Прецессия оси вращения Земли

Земля имеет форму сплюснутого эллипсоида вращения, радиус экватора которого примерно на 20 км больше полярного радиуса, благодаря чему главный момент инерции Земли относительно оси, проходящей через ее полюса, является максимальным. Вращение твердого тела вокруг оси с максимальным моментом инерции является устойчивым. Кинетический момент вращающейся Земли направлен по оси ее вращения. При отсутствии внешних моментов вектор кинетического момента сохраняет свое положение в инерциальном пространстве. Однако Земля находится в гравитационном поле Солнца, Луны и других планет, из-за воздействия которого возникают моменты сил, обуславливающие прецессию вектора кинетического момента, а вместе с ним и оси вращения Земли по конусу вокруг оси, нормальной к плоскости орбиты Земли (эклиптики). При этом угол при вершине конуса близок к величине 46.8° .

По отношению к инерциальной системе координат период прецессии составляет 25 920 лет, что древние греки называли Великим или Платоновым годом. Но при обсуждении вопросов о климате Земли необходимо учитывать еще и прецессию эллипса орбиты в плоскости эклиптики, идущую с периодом около 140 тыс. лет. Биения этих двух видов прецессии приводит к тому, что по отношению к Солнцу Земля имеет переменный период прецессии, лежащий в пределах от 10 до 32 тыс. лет. Нынешний период прецессии составляет 22 тыс. лет. Предыдущий – 24 тыс. лет. Следующий – 14 тыс. лет.

та орбиты Земли и угла наклона ее оси к плоскости эклиптики. Таким образом, в каждом следующем цикле прецессии разыгрывается свой сценарий изменения климата, как для каждой точки на земной поверхности, так и для планеты в целом.

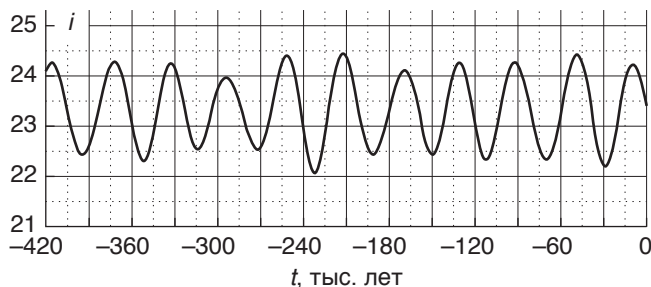
Сегодня Земля проходит перигелий 3-го января (дата зимнего солнцестояния 22 декабря), т. е. лето экваториального времени года сегодня практически совпадает с зимой полярного времени года (для Северного полушария). Совпадение перигелия с точкой зимнего солнцестояния происходило око-

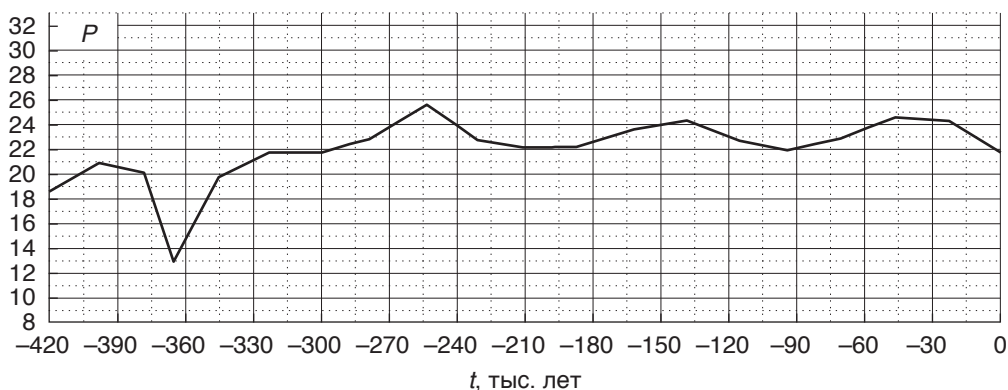
ло 750 лет назад. Путь на Север указывает Полярная звезда. В Южном полушарии лето экваториального времени года совпадает с летом полярного времени года.

Через примерно 11 тыс. лет из-за прецессии земной оси ситуация изменится на противоположную. Так, в Северном полушарии полярное лето будет совпадать с экваториальным. Путь на Север нашим далеким потомкам будет указывать уже не Полярная, а совсем другая звезда – Вега. Полярная зима в это время будет совпадать с экваториальной зимой.

Идущая непрерывно на протяжении всего периода прецессии смена фаз полярных и экваториальных времен года, существенно сказывается на климате Земли. Особенно резкими колебания климата будут при возрастании эксцентриситета, когда разница между инсоляциями во время экваториального

Наклонение оси вращения Земли в угл. град. (0 на графике 2000 г.)





Прецессия оси вращения Земли относительно плоскости эклиптики (0 на графике 2000 г.)

лета и экваториальной зимы достигнет 27%.

Вариации солнечной активности тоже имеют свои некратные периоды в 11, 22, 80, 200 и даже 2300 лет, которые накладываются на периоды, связанные с орбитальным движением планеты. Здесь не лишне снова вспомнить древнюю Грецию. Слово «климат» произошло от греческого слова «κλίμα» (клима), что означает «наклон», который означает положение некоторой площадки по отношению к падающим на нее солнечным лучам.

Наложение вариаций солнечной активности на циклы и периоды орбитального движения способны в каждый данный момент времени изменять сценарий развития земного климата.

КТО ВИНОВАТ И ЧТО ДЕЛАТЬ?

На протяжении миллионов лет солнечная активность и орбитальное движение нашей планеты демонстрируют высокую стабильность и предсказуемость. Если бы климат планеты определялся только ими, на Земле не было бы природных катастроф, не было бы и великих вымираний, приводивших к глубоким изменени-

ям флоры и фауны. Но Земля живая планета. Земные факторы накладываются на космические, что изредка приводит к непрогнозируемым результатам.

Около 11 тыс. лет назад начался очередной период прецессии, во время которого сформировалась наша цивилизация. Особенности этого периода заключаются в двух параллельно идущих процессах: уменьшении угла наклона земной оси и эксцентриситета орбиты Земли.

Уменьшение угла наклона земной оси влечет за собой расширение зон тропиков, субтропиков и средней полосы, а также приводит к сокращению площадей, очерченных северным и южным полярным кругом.

Инсоляция

Облучение поверхности параллельным потоком солнечной радиации. Астрономическая инсоляция зависит от эксцентриситета орбиты Земли и угла наклона ее оси вращения по отношению к плоскости эклиптики.

Таблица 1

Особенности орбитального движения Земли в начале, в середине и в конце текущего периода прецессии. Продолжительность периода 22 тыс. лет

		8980 г. до н.э.	2020 г.	13020 г.
Наклон земной оси, угл. град.		24.25	23.4	22.52
Эксцентриситет орбиты		0.0195	0.017	0.0115
Расстояние от Земли до Солнца	В перигелии, млн км	147.1	147.5	148.3
	В апогелии, млн км	152.9	152.5	151.7
Секундная инсоляция единицы площади Северного полюса	В перигелии, Вт/м ²	556	534	509
	В апогелии, Вт/м ²	514	499	487
Контраст экваториальной зимы и лета, %		8.2	7.0	4.5
Путеводная звезда Севера		Bera	Полярная	Bera

Уменьшение эксцентриситета орбиты снижает контраст полярной зимы и полярного лета.

Вместе оба процесса ведут к снижению температурных контрастов между климатическими зонами.

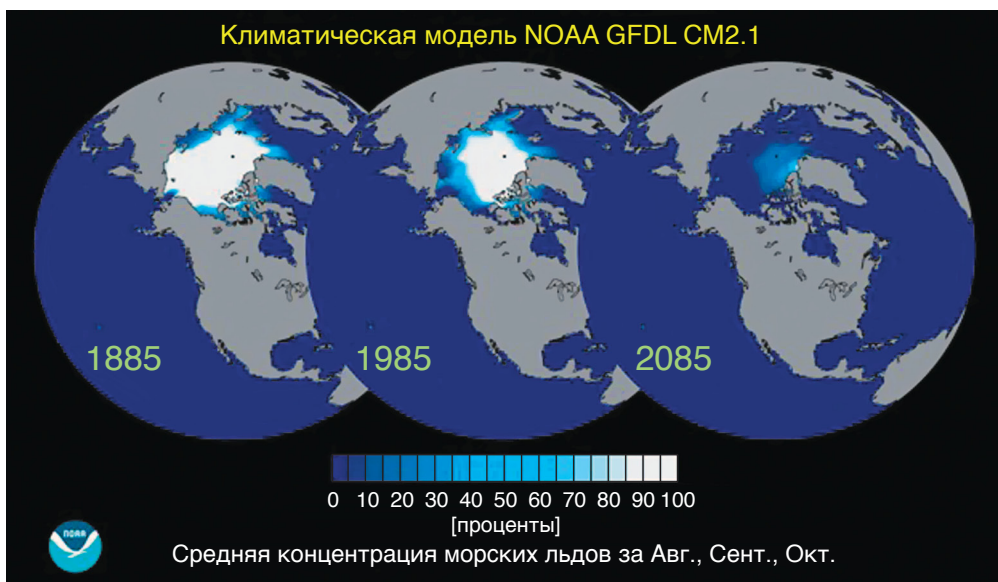
В первой половине нынешнего периода прецессии наша планета, пройдя через серию небольших по величине и по времени потеплений и похолоданий, вышла из Большого ледникового периода и вернулась к доледниковым значениям среднегодовой температуры. Так же будет проходить и вторая половина цикла. Это значит, что избежать потепления не удастся. Значит, надо приспосабливаться к изменяющимся условиям существования.

И все-таки, что же будет дальше? Каким будет климат через 100 или через 1000 лет?

В этой статье уже упоминался прогноз ГАО РАН, предсказывающий заметное похолодание к середине XXI в. Приведем еще один прогноз, сделанный другой авторитетной организацией, NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), представляющий собой пример реконструкции прошлого и прогноз на будущее ледового покрова в районе Северного полюса.

В соответствии с прогнозом NOAA Северный ледовитый океан в середине XXI в. в летнее время будет свободен ото льдов.

Какой же из этих двух прогнозов верен? Или правы оба источника? Может быть, несмотря на общее снижение среднегодовой температуры, климат северной приполярной области окажется способным растопить льды?



Реконструкция прошлого и прогноз будущего состояния ледового покрова в районе Северного полюса

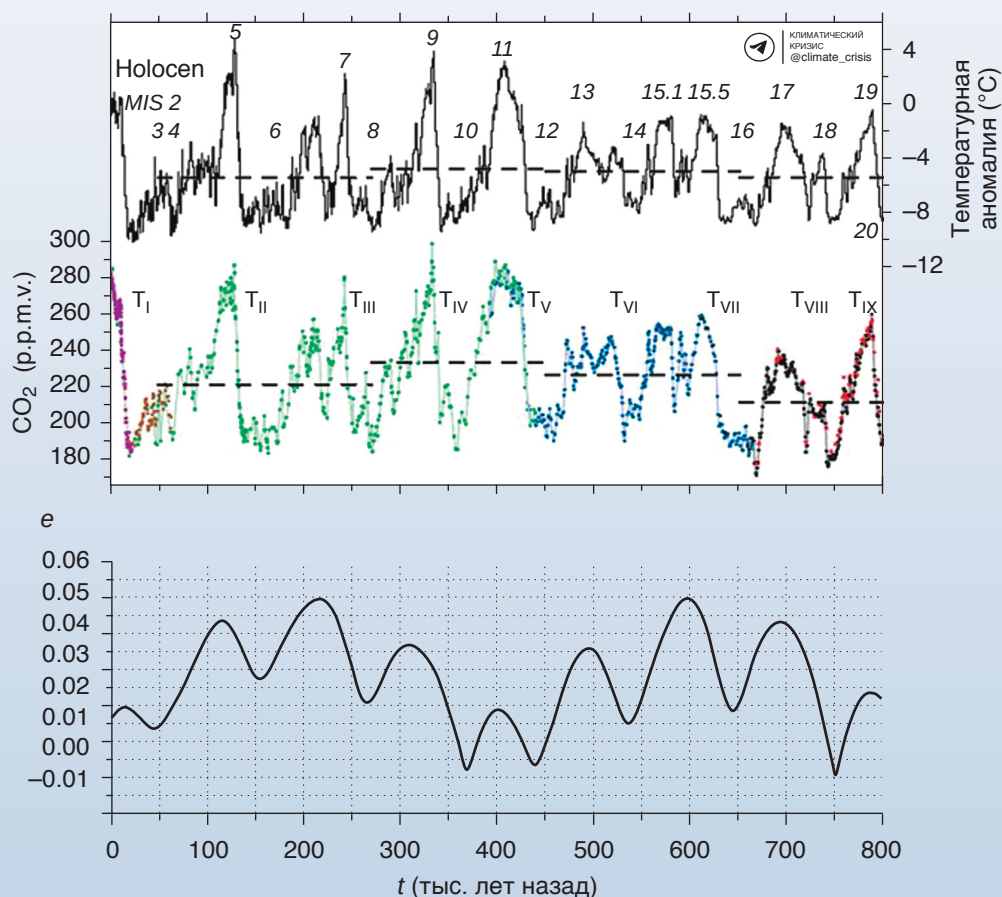
К сожалению, мы пока не можем ответить на этот вопрос. Ответ на него и на другие подобные вопросы должно дать математическое моделирование. Условия для создания достоверной модели климата на нашей планете складываются постепенно. В части космических факторов они уже сложились. Существующая модель движения планеты в поле тяготения позволяет с высокой точностью рассчитать ее положение по отношению к Солнцу на любой момент времени в пределах миллионов лет в прошлом и в будущем. Существуют и космические аппараты, способные в реальном времени с высокой точностью измерять поток солнечного излучения на верхней границе земной атмосферы. Таким образом, появилась возможность создания динамической модели инсоляции нашей планеты.

С земными факторами дело обстоит хуже. Пока не поддается прогнозированию вулканическая активность недр Земли. Очень трудно поддается моделированию взаимодействия Мирового

океана и атмосферы. Нельзя поручиться и за антропогенный фактор. Угроза ядерной войны на нашей планете до сих пор не ликвидирована.

Если же исключить из рассмотрения вулканический и атомный апокалипсис, то можно утверждать, что ничего катастрофического в ближайшем будущем природа нам не готовит. Рост температуры будет перемежаться с похолоданиями. Вполне можно ожидать повторения Малого ледникового периода. Природа дает нам время, чтобы постепенно подготовиться к более серьезным изменениям климата в кажущемся далеким будущем.

Проблема прогноза ключевых параметров климата во всех уголках планеты сейчас более чем актуальна. Не случайно, что Нобелевская премия по физике в 2021 г. была присуждена трем ученым Сюкуро Манабе, Клаусу Хассельману и Джорджио Паризи за открытия в области моделирования климата Земли. Климатические карты на столетия и тысячелетия вперед



Верхний график: ход температурной аномалии на протяжении последних 800 тыс. лет. Средний график: изменение содержания CO_2 в пузырьках воздуха и дейтерия во льду Антарктиды. Разным цветом окрашены данные, полученные разными методами и из разных мест (Loulerlegue et al., 2008. Nature. V. 453. P. 383–386). На нижнем графике показано изменение эксцентриситета орбиты Земли на том же отрезке времени. Отмечается корреляция между тремя графиками. Корреляция хода температур и изменений содержания CO_2 в атмосфере с параметрами орбитального движения Земли может подтвердить возможность реконструкции климата прошлого и создания на этой основе приближенного прогноза его развития в будущем

позволят лучше понять, условия существования человечества в будущем и на какие ресурсы оно сможет рассчитывать.

Однако вернемся в наше время. Не стоит забывать, что еще не в столь отдаленном прошлом даже небольшие изменения климата приводили к тяжелым последствиям. Похолодания сопровождались массовым голодом, значи-

тельным падением численности населения, приводили к миграции населения и к войнам переселенцев с коренными народами, населяющими более благополучные в климатическом отношении регионы. Потепление же климата в прошлом всегда рассматривалось как возрождение, приводило к расцвету сельского хозяйства, наук и искусств. Но и потепление климата в прошлом

тоже вызывало миграцию с целью освоения или захвата новых территорий.

Остается лишь констатировать, что любое, хоть на сколько-то значительное изменение среднегодовой температуры на Земле создает серьезную угрозу благополучию человеческого общества. Оно может не только усложнить ведение хозяйственной деятельности, судоходство и воздухоплавание, но и внести коррективы в географическую и политическую карту мира.

За истекшие с начала индустриализации неполные 200 лет человеческая природа мало изменилась. Все может повториться: и климатическая миграция, и войны за жизненные пространства. Причем по худшему сценарию, чем в прошлые века. Сохранение благополучия в условиях изменяющегося климата требует объединения усилий людей, народов и государств, что совсем непросто сделать в наше время, в условиях всеобщей разобщенности.

ВОЗВРАЩАЯСЬ К МИЛАНКОВИЧУ

Теория циклического изменения климата Миланковича была принята научным сообществом первой половины XX в., а изложенные в книге факты, касающиеся изменений параметров орбитального движения Земли, не опровергаются и в наши дни. Более того, в наше время его теория дополняется новыми данными – более протяженными и более короткими циклами, порядка 400–800 лет, которые Миланкович не обнаружил. С учетом новых знаний, полученных наукой за истекшие с момента написания книги 100 лет, критике подвергаются только некоторые детали его теории, например, датировки климатических изменений, происходивших на планете в прошлом, примененный им метод расчета инсоляции, и теплового баланса, что вполне естественно и не меняет сути его теории в целом.

Теория Миланковича признана современной наукой. Европейский геофизический союз с 1993 г. награждает ученых, внесших значительный вклад в исследования долгосрочных климатических изменений, медалью его имени. В 2000 г. NASA внесло Милутина Миланковича в первую десятку великих ученых, занимавшихся науками о Земле.

Однако при всем уважении к Миланковичу со стороны научного сообщества, в огромном потоке современных публикаций по вопросам глобальных изменений климата сам автор астрономической теории климата упоминается крайне редко.

Современные технологии позволяют перепроверить теорию Миланковича, уточнить и развить ее с учетом новых знаний. Это особенно важно именно в наше время для формирования разумной стратегии выживания в кажущемся далеким будущем.

Теорию циклического изменения климата под воздействием космических факторов и роль человека в этом процессе следовало бы преподавать в школах, начиная с младших классов, постепенно разясняя ее в старших. Новые поколения людей должны лучше, чем нынешние, знать и понимать среду собственного обитания.

Справедливость по отношению к Миланковичу должна восторжествовать, как залог будущего успеха в борьбе человечества за климатическое благополучие. А Миланковичу надо поставить памятник и сделать на нем надпись: Человеку, который рассчитал будущее человечества!

Рекомендованная литература

1. Интернет-ресурс: <https://public.wmo.int/ru/media/пресс-релизы/согласно-сводным-данным-вмо-2021-год-—-один-из-семи-самых-теплых-лет-в-истории>.
2. Федоров В.М., Голубев В.Н., Фролов Д.М. Многолетняя изменчивость инсоляции Земли и содержания двуокси углерода в

- атмосфере // Препринт статьи принятой для публикации в журнал «Жизнь Земли». <http://zhizn zemli.mes.msu.ru/>
3. Tomas Westerhold, Norbert Marwari, Anna Joy Drury, Diederik Liebrand, James C Zachos at al. An astronomically dated record of Earth's climate and its predictability over the last 66 million years // Science, 2020. Vol. 369. Iss. 6509. P. 1383–1387.
 4. Сорохтин О.Г. Эволюция климатов Земли // <https://fiz.1sept.ru/article.php?ID=200700907>.
 5. Сорохтин О.Г. Адиабатическая теория парникового эффекта // <https://fiz.1sept.ru/article.php?ID=200501111>
 6. C.H. Beck, Wolfgang Behringer: Kulturgeschichte des Klimas. München 2007, ISBN 978-3-406-52866-8, S. 86–90.
 7. Семенов С.М. Парниковый эффект и его антропогенное усиление // Солнечно-земная физика, 2012. Вып. 21. С. 10–17.
 8. Абдусаматов Х.И. Об уменьшении потока солнечного излучения и понижении глобальной температуры Земли до состояния глубокого похолодания в середине XXI века // Известия Крымской астрофизической обсерватории, 2007. Т. 103. No. 4. С. 292–298.
 9. Абдусаматов Х.И. О долговременных скоординированных вариациях активности, радиуса, светимости Солнца и климата // ГАО РАН, Санкт-Петербург, Россия.
 10. Миланкович М. Математическая климатология и астрономическая теория колебания климата // Москва, 1939. ГОНТИ.
 11. Абдусаматов Х.И. Эксперимент «Астрометрия» по измерению временных вариаций формы и диаметра Солнца на Служебном модуле Российского сегмента МКС // Известия РАН, серия физические науки, 2007. Том 71. No. 4. С. 611–616.
 12. Михайлов М.В., Константинов И.А. Новое представление вектора состояния и уравнений движения космических аппаратов. Экономичные по времени и памяти высокоточные алгоритмы интегрирования уравнений движения // XXII Научно-техническая конференция РКК «Энергия», ноябрь 2021 г., Сборник докладов.
 13. Laskar J., Robutel P., Joutel F., Gastineau M., Correia A.C.M., Levrard B. 2004, A long term numerical solution for the insolation quantities of the Earth. Astronomy and Astrophysics, 428, 261–285 DOI:10.1051/0004-6361:20041335.
 14. Физика космоса: Маленькая энциклопедия // Гл. редактор Р.А. Сюняев., 2-е издание, переработанное и дополненное. М., Сов. Энциклопедия, 1986.





**ЭКСКЛЮЗИВНЫЙ
ПЕРЕПЛЕТ**

Рисунок на коже
Все виды тиснения
Кожанный переплет
Рельефное тиснение
Клише любой сложности
Полноцветная роспись обзоров
А также адресные папки, дипломы, футляры

Берёмся за работы любой сложности!
По всем интересующим вопросам пишите на почту kiseleva@tnauka.ru

реклама

С новыми книгами
Издательства “Наука”
вы можете ознакомиться на сайте
naukabooks.ru



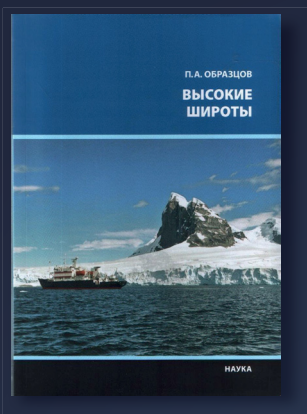
Капанадзе А.Л.

**Опытным путем:
Эксперименты, изменившие мир.**

М.: Наука, 2019. – 319 с.

В книге рассказывается об основных вехах в развитии экспериментальных методов в самых разных областях наук о природе, человеке и обществе – физике, химии, астрономии, биологии, физиологии, медицине, археологии, социологии, психологии, экономике. Охвачен период с античных времен до наших дней. Читатель узнает о знаменитых и малоизвестных опытах, оказавших огромное влияние на формирование наших представлений о мире и о нас самих. Большое внимание автор уделяет не только истории приборов и технологий, но и истории идей. Затрагиваются проблемы отличия классического эксперимента от наблюдения (когда опыт «ставит» сама природа), преемственности технических инноваций, влияния общественного климата на работу экспериментатора, роли случайности в этой работе.

Для широкого круга читателей.



Образцов П.А.

Высокие широты.

М.: Наука, 2018. – 192 с. – (Научно-популярная литература)

Книга повествует об открытии и освоении Арктики и Антарктики, этих двух полюсов холода и мужества, об отважных героях, благодаря которым человечество узнало о природе, животном мире самых северных и самых южных земель, а также о том, какая непростая и вместе с тем увлекательная жизнь идет сегодня в этих суровых, таинственных и манящих краях.

Для широкого круга читателей.



Верещагин Г.В., Аксенов А.Г.

Релятивистская кинетическая теория с приложениями в астрофизике и космологии.

М.: Наука, 2018. — 471 с.

Релятивистская кинетика широко применяется в астрофизике и космологии. В последние годы интерес к этой теории вырос, поскольку появилась возможность ставить эксперименты при таких условиях, где релятивистские эффекты становятся существенными. Настоящая монография состоит из трех частей. В первой части представлены основные идеи и концепции, уравнения и методы теории, включая вывод кинетических уравнений из релятивистской цепочки Боголюбова, а также соотношение кинетического и гидродинамического описаний. Вторая часть — это введение в вычислительную физику, причем особое внимание уделяется численному интегрированию уравнений Больцмана и смежным вопросам, а также многокомпонентной гидродинамике. В третьей части дан обзор приложений, который охватывает вопросы ковариантной теории отклика, термализации плазмы, комптонизации в статических и динамических средах, кинетики самогравитирующих систем, образования структуры в космологии и излучения нейтрино при гравитационном коллапсе.

Для студентов старших курсов университетов, аспирантов и исследователей, специализирующихся в области теоретической физики, астрофизики и космологии.

naukabooks.ru

Реклама

ВТОРАЯ ВИКТОРИНА ЮНЫХ ФИЗИКОВ ОТДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК РАН

ГОЛОВАНОВА Алина Владимировна^{1, 2, 3},

МАГАРЯН Константин Арутюнович²,

НАУМОВ Андрей Витальевич^{1, 2, 3}

¹ Институт спектроскопии РАН

² Московский педагогический государственный университет

³ Троицкое обособленное подразделение ФИАН им. П.Н. Лебедева

DOI: 10.7868/50044394822030045

Окончание. Начало см. *ЗиВ*, 2022, № 2.

Вопрос 5 (8–9 классы)

КОВАЛЁВ Юрий Юрьевич,

доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, профессор РАН,

Астрокосмический центр Физического института имени П.Н. Лебедева РАН,

Московский физико-технический институт



Астрофизики успешно изучают Вселенную при помощи большого количества разнообразных радиотелескопов с поверхности Земли. Выдающиеся результаты, полученные радиотелескопами, отмечались даже Нобелевскими премиями.

Телескопы выводят в космос в других диапазонах электромагнитного спектра по разным причинам. Например, рентгеновское излучение не проходит через атмосферу Земли. Оптическое излучение рассеивается на турбулентной атмосфере Земли и изображение портится.

ВОПРОС: Надо ли выводить в Космос радиотелескопы и для решения каких-либо задач?

Вопрос 6 (8–9 классы)

ЛУТОВИНОВ Александр Анатольевич,
доктор физико-математических наук, профессор РАН,
Институт космических исследований РАН



На северный полюс Луны установили пушку, которая выпустила ядро под углом 45° к горизонту. Ядро упало на южный полюс Луны. Найдите его максимальную высоту над поверхностью Луны.

Вопрос 7 (10–11 классы)

ДМИТРИЕВ Владимир Владимирович,
доктор физико-математических наук, академик РАН
Институт физических проблем им. П.Л.Капицы РАН



По какой траектории должен лететь современный самолет для того, чтобы можно было воспроизвести невесомость? Как долго можно воспроизводить невесомость?

Вопрос 8 (10–11 классы)

РУБЦОВ Алексей Николаевич,
доктор физико-математических наук, профессор РАН,
Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова

На столе в лаборатории на экваторе лежит деревянный брусок. Опыт проводится при нормальных условиях, ветра нет. Сила реакции опоры (стола) компенсирует все силы, действующие на брусок. Перечислите 5 наибольших из этих сил в порядке убывания.



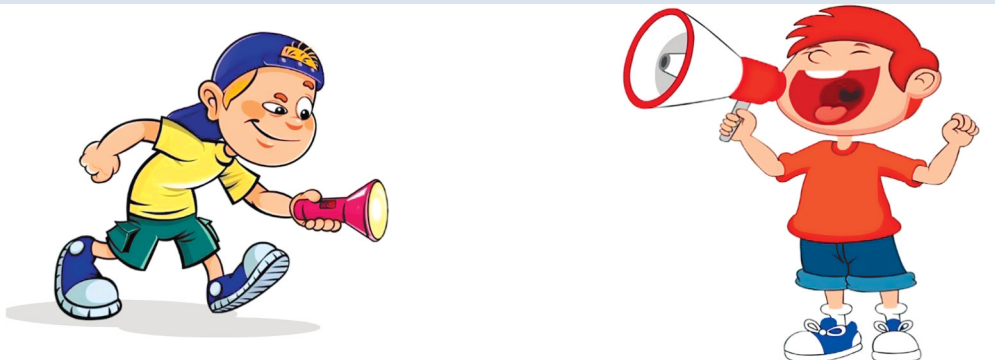
Вопрос 9 (8–9 классы)

РУБАКОВ Валерий Анатольевич,
доктор физико-математических наук, академик РАН
Институт ядерных исследований РАН

Что чернее – черная дыра или темная материя?

Первый специальный вопрос (для всех возрастов) ко Дню света и световых технологий

СЕРГЕЕВ Александр Михайлович,
доктор физико-математических наук, академик РАН,
Президент РАН



Может ли скорость звука быть больше скорости света?

Ответы см. на стр. 100

ПАРАД ПЛАНЕТ ЛЕОНИДА КСАНФОМАЛИТИ К 90-летию со дня рождения

КОРОСТЕЛЕВ Сергей Геннадьевич,

кандидат филологических наук,

писатель

DOI: 10.7868/50044394822030057

Окончание. Начало статьи см. в *ЗиВ*, 2022, №2.

КОМЕТА ГАЛЛЕЯ. ФОБОС. ДЕВЯНОСТЫЕ

1 и 5 марта 1982 г. спускаемые аппараты АМС «Венера-13» и «Венера-14» передали первые цветные панорамы с поверхности планеты, а венчал отечественную венерианскую программу проект «Вега» (*ЗиВ*, 1985, № 1). В феврале 1986 г., после очередной встречи с Венерой (11 и 15 июня 1985 г. планеты исследовали посадочные аппараты и аэростатные зонды), два наших аппарата отправились на «перехват» кометы Галлея, которая сближается с Солнцем каждые 75–76 лет. Так, 6 и 9 марта 1986 г. АМС «Вега-1» и «Вега-2» про-

летели на расстоянии всего нескольких тысяч километров от кометного ядра, проведя уникальные измерения (*ЗиВ*, 1986, № 4; 2016, № 2; 2021, № 1).

Сверхуспешный проект «Вега», во многом *проект века*, был впервые осуществлен в широкой международной кооперации – совместно с несколькими европейскими странами, в том числе капиталистическими. Следующей амбициозной целью, вслед за кометой Галлея, стало другое малое тело – спутник Марса Фобос (*ЗиВ*, 1987, № 4). Изучить состав грунта Фобоса планировали «не отходя от кассы» – с помощью лазерной пушки. Увы, претворить в жизнь этот оригинальный эксперимент не удалось. АМС «Фобос-1» была

потеряна еще в самом начале миссии, в сентябре 1988 г., – по причине ошибочной команды, посланной с Земли. «Фобос-2» (самое обидное!) отключился



Л.В. Ксанфомалити (в центре) и сотрудники его лаборатории обсуждают информацию, переданную АМС «Венера-13». Слева направо: Е.В. Петрова, О.Ф. Ганпанцерова, В.К. Хондырев, Н.В. Горошкова, В.М. Зубкова

в марте 1989 г., когда до сближения оставалось всего ничего (ЗиВ, 1989, № 5).

Хорошо, что несколько научных приборов продолжили свою работу и при таком, неуправляемом, состоянии станции. В их числе был разработанный Ксанфомалити КРФМ – комбинированный радиометр-спектрофотометр, который провел единственные в истории фотометрические наблюдения Фобоса с высоким пространственным разрешением – в девяти узких спектральных интервалах

в диапазоне 315–600 нм. Эти данные позволили предположить, что по своим свойствам реголит Фобоса не тождествен углистым хондритам, как думали раньше: спектр Фобоса – по крайней мере, в наблюдавшейся его части – оказался значительно краснее. Это заставило крепко задуматься относительно природы поверхностных пород и о происхождении Фобоса в целом.

После программы «Фобос» отечественные планетные миссии оказались в своеобразном крутом пике. 17 ноября 1996 г., разрушившись в атмосфере, упала в океан АМС «Марс-96» (ЗиВ, 1994, № 4; 1996, № 4; 1997, № 2), 15 января 2012 г. та же участь постигла АМС «Фобос-Грунт» (ЗиВ, 2011, № 4; 2012, №№ 2, 4). На «Марсе-96» погиб созданный Ксанфомалити картирующий спектрофотометр высокого разрешения «Свет», который должен был изучать состав пород поверхности и приросту аэрозолей.

В 1990-е гг. вся отечественная наука переживала крайне тяжелые времена; ИКИ исключением не был. Многие наши ученые, в том числе сотрудники планетного отдела ИКИ, перебра-



У кратера на прародине – острове Крит. 1990-е гг.

лись на Запад. Ксанфомалити остался, хотя варианты уехать у него тоже были. На четверть грек, на четверть русский, на четверть украинец и на четверть поляк, он был слишком *русским человеком*, который за границей не ужился бы. В своих привычках, образе жизни он был более чем консервативен. А главное, не забывая о репрессиях, разрушивших семью его родителей, нещадно критикуя власть, он говорил: «Я люблю свою страну – как бы высокопарно это ни звучало».

Добавим, что в 1999 г. Леонида Васильевича постигла трагическая утрата – погибла его дочь Наташа, последний человек (кроме него самого), кто носил фамилию Ксанфомалити...

МЕРКУРИЙ. «ДЕМОНЫ». ЭКЗОПЛАНЕТЫ

После проекта «Марс-96» Ксанфомалити обратился к наземной астрономии. В центре его внимания оказался Меркурий, который к концу 1990-х гг. мог считаться незаслуженно забытой планетой. Вытянутость его орбиты, бли-

зость к Солнцу делают его одним из самых труднодоступных объектов Солнечной системы. Наши межпланетные станции к Меркурию не летали никогда, иностранные – на тот момент – лишь однажды. В 1974–1975 гг. три пролета у Меркурия совершил американский «Маринер-10»¹. После завершения той миссии в ИКИ выступал Джузеппе (Бепи) Коломбо (1920–1984)², придумавший использовать гравитационный маневр у Венеры, без которого до Меркурия было бы не добраться. Он работал тогда в знаменитой Лаборатории реактивного движения (Jet Propulsion Laboratory, JPL) NASA и произвел на Ксанфомалити колоссальное впечатление.

Не менее чем для баллистика, противен Меркурий и для астронома. «Счастлив астроном, Меркурий увидевший», – говаривали в Средневековье. Копернику, согласно легенде, не повезло, и, умирая, он сожалел об этом. Меркурий не «отлипает» от Солнца на угол, превышающий 28°, а обычно – не более 22°. (Это удаление называется элонгацией.) Даже в лучшем случае угловой размер планеты не превышает 7" дуги. Так что в основном Меркурий наблюдают в астрономические сумерки, когда угол нахождения солнца под горизонтом составляет от 12° до 18°, после захода или перед восходом. В теории эти наблюдения длятся в течение полутора часов (максимум), а вот на практике – значительно меньше. Наиболее выгодные периоды видимости Меркурия – это только одна-две недели и обычно только два раза в год. Наконец, по-настоящему эффективные

наблюдения возможны лишь в горных обсерваториях южных широт – чем ближе к экватору, тем лучше.

Ксанфомалити прибегнул к методу коротких (или даже сверхкоротких, 1–3 миллисекунды) экспозиций. Он заключается в том, чтобы использовать случайные мгновенные прояснения атмосферы, дающие четкое изображение, которое не успевает размыться. «На бумаге» идея существовала давно, однако реализовать ее не удавалось по причине низкой чувствительности фотоматериалов. Перелом наступил с появлением ПЗС-камеры (прибора с зарядовой связью). Инструменты, на которых работал Ксанфомалити, были не слишком мощными, однако, как ни парадоксально, эти сравнительно небольшие телескопы с диаметром зеркала 1–2 м оказались предпочтительными, ибо, с одной стороны, охватывали меньше атмосферных линз, а с другой – еще собирали достаточно света.

Наконец, принципиально важной была компьютерная обработка полученных снимков планеты, которая включала в себя несколько шагов и математических приемов. Главной и наиболее трудоемкой процедурой было корреляционное совмещение, или «наложение» (stacking), в основе которого лежало применение так называемого пилот-файла, субъективно наиболее удачного снимка. За десять лет активной работы над меркурианской темой (1999–2008) в арсенале Ксанфомалити оказались аж 16 компьютерных программ, в том числе AstroStack – Леонид Васильевич консультировался с ее разработчиком голландцем Робертом Стекеленбургом.

Наблюдательные сессии состоялись в Абастумани, на Пике Терскол в Кабардино-Балкарии, в Нижнем Архызе в Карачаево-Черкесии и, наконец, в дальнем зарубежье – в обсерваториях Маунт-Бигелоу в штате Аризона и Ски-

¹ Ксанфомалити Л.В. Меркурий – брат Луны // Земля и Вселенная, 1976, № 1.

² Итальянский ученый (математика, физика, астрономия), инженер-механик, профессор Падуанского университета. 20 октября 2018 г. к Меркурию отправлена европейская АМС, названная в честь ученого «БепиКоломбо» (BepiColombo).



Л. В. Ксанфомалити – «ловец» Меркурия.
2000-е гг.

накас на Крите, куда Ксанфомалити помогли пробиться его друзья Том Герелс (1925–2011) и Иоаннис Папамас-торакис соответственно. Обсерватория Скинакас сыграла для Ксанфомалити особую роль. Именно там, наблюдая ранее неизвестную часть поверхности Меркурия («Маринер-10» картировал только 46%), Ксанфомалити обнаружил огромный (диаметром 1060 км) ударный кратер, которому он дал рабочее название Море, или Бассейн, Скинакас. По размерам этот участок рельефа превосходил крупнейшее, как считалось, образование на Меркурии – Равнину Жары (Caloris Planitia).

Ночные бдения, стойческое сидение, зябкие и мучительные предрасветные часы, прохлада высокогорий... Нередко из поездок Ксанфомалити возвращался больным, однажды привез воспаление легких. Но на самом деле ошибка в науке стоит гораздо дороже – ведь о кратере Скинакас Ксанфомалити «раструбил» в своих статьях, на конференциях, в том числе международных. К сожалению, его постигло большое разочарование.

18 марта 2011 г. впервые в истории на орбиту Меркурия вышла американская АМС «Мессенджер» (ЗиВ, 2005, № 2; 2011, № 4; 2016, № 4). За четыре года работы этот аппарат сделал около 300 тыс. снимков с рекордно близкого расстояния, которые, разумеется, значительно превосходят по качеству те изображения, которые с таким трудом добывал и обрабатывал Ксанфомалити. Ничего похожего на Море Скинакас «Мессенджер» не обнаружил – этот кратер оказался иллюзией. Надо понимать, что искажающих эффектов, которые ни в коей мере не являются виной астронома, очень много. Эти-то «демоны» в окружении Меркурия и ввели Ксанфомалити в заблуждение: он принял их за реальное морфологическое образование...

Отрадно только то, что ничего не проходит впустую. Опыт компьютерной обработки снимков Меркурия пригодился Ксанфомалити в тот момент, когда он решил заново проанализировать объекты, запечатленные на старых панорамах Венеры 1975 и 1982 гг. На поиски живых существ, которые могли бы обитать в условиях «природной высокотемпературной лаборатории», Ксанфомалити вдохновило и другое (помимо Меркурия) его увлечение 1990–2000-х гг. – экзопланеты (ЗиВ, 2020, № 3).

В 1995 г. была открыта 51 Peg b – первая планета у солнцеподобной звезды. С тех пор много лет размышлявший о жизни в других мирах Ксанфомалити стал страстным популяризатором и интерпретатором достижений западных астрономов, устроивших настоящую «облаву» на планеты у других звезд. Поначалу его целью было «зажечь» своих российских коллег, а затем Ксанфомалити попытался внести и свою лепту. В декабре 2003 г. в Маунт-Бигелоу Ксанфомалити замерил изменения поляризации света несколь-



Первые панорамы Венеры в старой обработке

ких звезд (в том числе 51 Пегаса), о которых заранее известно, что они обладают планетными системами. Он исходил из того, что, во-первых, приливные эффекты от горячих юпитеров должны вызывать неоднородности в фотосфере звезды и что они могут создавать периодическую составляющую поляризации, синфазную периоду обращения экзопланеты. Во-вторых, заметную поляризацию может дать рассеяние света в атмосфере экзопланеты при транзитах. В сущности, этот эффект может наблюдаться не только при транзитах, но и в таком положении орбиты экзопланеты, когда происходит сильное рассеяние света – в ее атмосфере или газопылевом кометообразном хвосте, касающемся диска звезды вблизи нижнего соединения. Ксанфомалити рассчитывал показать, что его любимый поляриметрический метод может вполне себе пригодиться при поиске внесолнечных планет. Впрочем, к полученным результатам Леонид Васильевич отнесся осторожно, отдавая себе отчет в том, что ему удалось охватить только один орбитальный период 51 Peg b (4.2 суток) и что наблюдения проводи-

лись не в лучших метеорологических условиях – в период муссонов.

Сейчас подтверждено существование уже свыше четырех тысяч экзопланет, многие из которых обращаются буквально вплотную к своим звездам (нередко даже ближе, чем наш Меркурий). Однако светимость ряда звезд ниже, чем у Солнца, и потому температура горячих юпитеров, горячих нептун, горячих суперземель может быть того же порядка, что и температура Венеры. Жизнь там, говорите, невозможна? А может быть, это наш «углеродный шовинизм»?

ЖИЗНЬ И СМЕРТЬ НА ВЕНЕРЕ

22 октября 1975 г. в одной из лабораторий Центра дальней космической связи в Евпатории яблоку негде было упасть. Все ждали «главного чуда» – первых в истории фотографий с поверхности Венеры. В динамиках раздался голос руководителя телевизионного эксперимента на АМС «Венера-9 и -10» Арнольда Сергеевича Селиванова (1935–2019): «Идет изображение. Видны детали на

Рис. 12. Предмет необычной формы, расположенный в правой нижней части панорамы, переданной «Венерой-9» (см. рис. 9)

Детали предмета симметричны относительно продольной оси. Недостаточная четкость скрывает его контуры, но если их обвести, то при некотором воображении можно увидеть фантастического «обитателя Венеры». Но это, вероятно, не что иное, как вулканическая бомба



Юмористически дорисованный «странный камень», он же «сыч».

Из книги Л. В. Ксанфомалити «Планеты, открытые заново» (М.: Наука, 1978)

поверхности планеты. Качество картинка хорошее». «Сигналы с поверхности Венеры, где аппарат всеми заложенными в него силами боролся с огненным дыханием планеты, поступали около часа. Вскоре еще “мокрая” картинка была вывешена для всеобщего обозрения. Люди толпились вокруг, мешали друг другу. Бумага подсыхала и скручивалась. Ее приклеили к стеклу. Звездные часы ученых и конструкторов! Каждый понимал, что решена задача небывалой сложности», – вспоминал Ксанфомалити.

Необычный объект на панораме, переданной «Венерой-9», привлек его внимание сразу же. Ксанфомалити поделился своими соображениями с Морозом. Тот смеялся. Наутро же Ксанфомалити обнаружил, что Мороз все вертит снимок в руках.

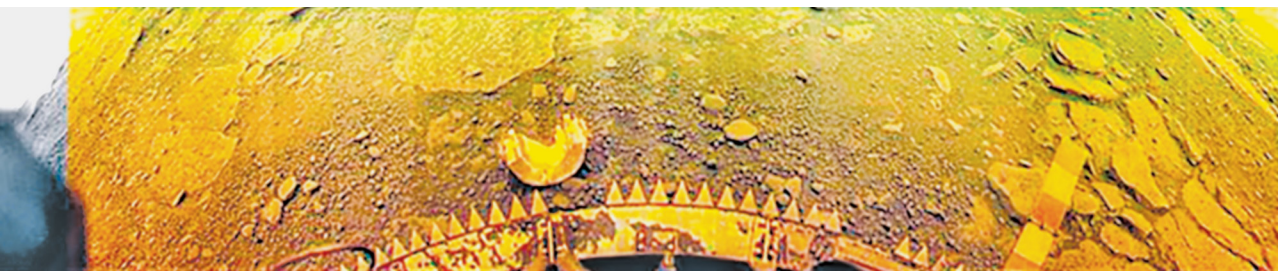
– Что такое? – удивился Ксанфомалити.

– Да я *его* уже не видеть не могу, – ответил Мороз и как бы снова рассмеялся.

Заметили *его* многие – далеко не только Ксанфомалити. В коллективной монографии «Первые панорамы поверхности Венеры», вышедшей в 1979 г., Кирилл Павлович Флоренский (1915–1982) и другие опытные геологи охарактеризовали этот объект как «странный камень со стержнеобразным выступом и бугорчатой поверхностью». Они посчитали, что это – брекчия, вид

горной породы. Однако Ксанфомалити терзали «смутные сомнения». А что если это – нечто живое? Вернувшись в Москву, Ксанфомалити не выдержал и рассказал о «странном камне» грозному академику Р.З. Сагдееву, тогдашнему директору ИКИ. Невозможность жизни на Венере к середине 1970-х гг. считалась бесспорной, и иметь на сей счет другую точку зрения было, по меньшей мере, смело. Сагдеев, едва услышав об этой безумной идее взбалмошного Ксанфомалити, сказал кратко – как отрезал: «Только через мой труп!»

И все же в своей книге «Планеты, открытые заново» (1978) Леонид Васильевич решился на провокацию: «В правой части снимка виден предмет диковинной формы. Вся его поверхность покрыта странными наростами, причем в их положении можно увидеть какую-то симметрию. Влево от предмета выступает длинный прямой белый отросток, под которым видна глубокая тень, повторяющая его форму. Белый отросток очень похож на прямой хвост. С противоположной стороны предмет оканчивается большим белым округлым выступом, похожим на голову. Весь предмет покоится на короткой толстой “лапе”. Разрешение снимка недостаточно, чтобы можно было четко различить все детали загадочного предмета... Неужели “Венера-9” опустила рядом с живым обитателем планеты? В это уж



Цветная панорама, переданная спускаемым аппаратом АМС «Венера-13» 1 марта 1982 г.

очень трудно поверить. Вероятнее всего, мы видим камень необычной формы, похожий на вулканическую бомбу, размером 25–30 сантиметров. Другие детали – “голова”, например, – проецируются на нее случайно. Случайна также кажущаяся симметрия форм и непонятный венчик вокруг “хвоста”. Это просто вулканическая бомба... С хвостом». Но сказано было с фигой в кармане. Ксанфомалити объяснял, что в последней фразе был чистой воды сарказм – из серии: «И все-таки она вертится!»

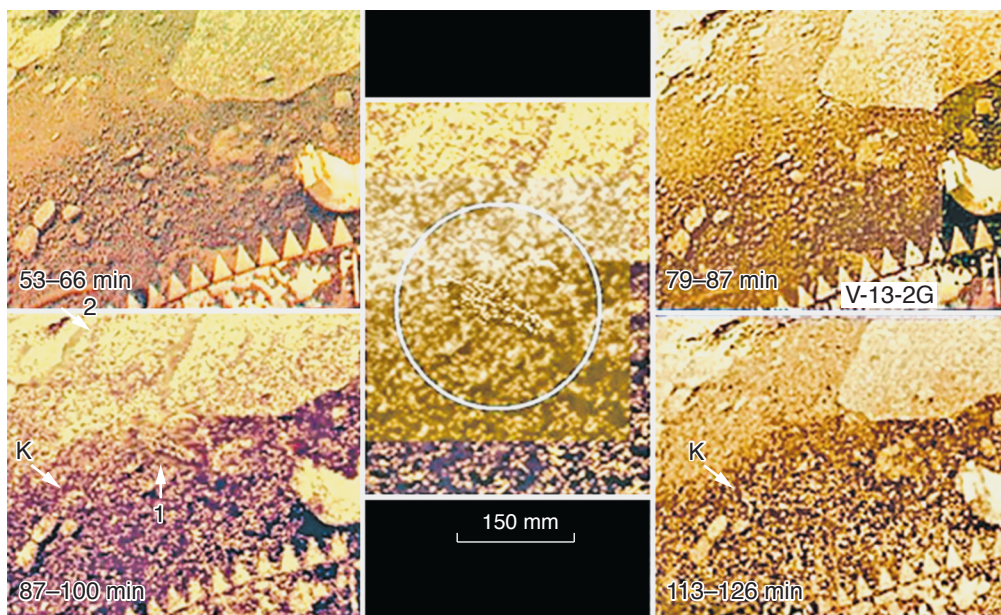
О загадочном жителе Венеры Ксанфомалити упоминал потом еще в двух своих книгах – немецкоязычной «Planeten» (1986) и в «Параде планет» (1997). А вот в классической монографии «Планета Венера» (1985) о «странном камне» он умолчал, по его словам, потому, что «вопрос о необходимых источниках энергии в безокислительной атмосфере оставался (и продолжает оставаться) неясным». Или слухавил? Может, все же побоялся запятнать свою научную репутацию?

Венерианские панорамы не давали ему спокойно спать – он то и дело возвращался к ним на протяжении многих лет. В конце 1990-х гг., на заре современных методов компьютерной обработки, Ксанфомалити понял, что дело может сдвинуться с мертвой точки. И только в 2003–2006 гг. он осуществил новое «преобразование» панорам с изображением «странного камня».

Впоследствии Ксанфомалити всячески подчеркивал, что ретуширование, дорисовывания, дополнения исходных изображений полностью исключались. Фотошопом он не пользовался. Единственное – в некоторых (оговариваемых) случаях корректировались яркость и контрастность.

Отметим, что обнародованные по итогам миссий «Венера-9, -10» и «Венера-13, -14» панорамы, которые широко печатались как у нас в стране (ЗиВ, 1986, № 4), так и за рубежом, были созданы путем комбинирования наиболее удачных изображений, полученных как в черно-белом варианте, так и в цвете. Ксанфомалити же задался целью изучить всю последовательность четырех десятков панорам и их фрагментов, включая «маргинальные» – те, что раньше отбрасывались как ненужные. Что он там искал? Во-первых, какие-либо различия в деталях. А вдруг что-то появляется или исчезает, может, изменяет свой вид. Во-вторых, объекты с любопытной морфологией. Вдруг что-то заинтересует пристальный взгляд, ведь после новой обработки снимки предстали куда более четкими.

Оказалось, что местность, усеянная, как мы думали, лишь грудой камней, буквально кишит живыми организмами! Леонид Васильевич в этом уже не сомневался, ежедневно рассказывая о своих удивительных находках супруге. «Странному камню» Ксанфомалити



Тщательное изучение венерианских изображений. «Скорпион» (1) появился на панораме, снятой с 87-й по 100-ю минуты. На изображениях, полученных до 87-й и после 113-й минуты, он отсутствует. Малоконтрастный объект 2, вместе с клочковатой светлой средой, также присутствует только на панораме 87-100-й минут. На кадрах 87-100-й и 113-126-й минут слева, в группе камней, появился новый объект К с изменяющейся формой. Его нет на кадрах 53-66-й и 79-87-й минут. В центральной части снимка показаны результат обработки изображения и размеры «скорпиона»

дал другое название – «сыч». Всего он обнаружил 18 представителей венерианской фауны и флоры; это «скорпион», «диск», «медвежонок», «змейка», «гриб», «стебли», «геспы» (Гёспер – вечерняя звезда у древних греков), «амисады»³ (своего рода ящерицы) и другие объекты.

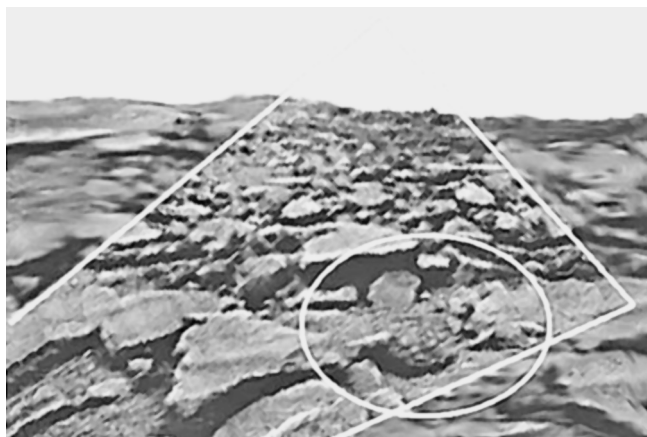
Но там где есть жизнь – должна быть, увы, и смерть. Удалось идентифицировать и «поврежденного сыча». Ксанфомалити заметил тянущийся за этим созданием след – на Земле его назвали бы «кровоавым». Ксанфомалити предположил, что в условиях высоких тем-

ператур и чудовищного давления тела венерианцев наполнены сгущенной субстанцией вроде смолы. В отличие от земных организмов, они должны быть весьма медлительны. Даже при смертельной опасности они способны развивать скорость только в несколько сантиметров в минуту. Возможно, «грохнувшийся» с неба робот поранил одного из местных жителей – в таком случае первую жертву земной «агрессии» на Венере стоит отнести к 22 октября 1975 г. ...

ЗА И ПРОТИВ. АЗОТ. «ВЕНЕРА-Д»

У Ксанфомалити было несколько любимых высказываний. «Кто делает открытия? Все знают, что это невозможно.

³ От имени вавилонского царя, при котором древние астрономы регистрировали на глиняных табличках утренние и вечерние элонгации Венеры. Амми-цадука правил в XVII в. до н.э.



«Сыч» Ксанфомалити на панораме с исправленной геометрией. «Венера-9», 22 октября 1975 г.

Но вот приходит невежда, которому это неизвестно – он-то и делает открытие» (Альберт Эйнштейн). «Истина проходит через три стадии: сначала ее высмеивают, потом ей яростно сопротивляются, и, наконец, принимают как очевидное» (Артур Шопенгауэр). Наконец: «Этого не может быть, потому что этого не может быть никогда» (Чехов, «Письмо к ученому соседу»).

Еще до первой публикации Ксанфомалити консультировался со своими друзьями и коллегами-учеными, мнением которых он дорожил. Большинство отнеслось к его гипотезе скептически. Академик Алексей Юрьевич Розанов, директор Палеонтологического института, наотрез отказался печатать статью Леонида Васильевича в своем «Палеонтологическом журнале». Ксанфомалити был жутко обижен – на какое-то время перестал с Розановым общаться. В конце концов, в июле 2011 г. статью с длинным, почти дарвиновским названием «Венера как естественная лаборатория для поиска жизни в условиях высоких температур: О событиях на планете 1 марта 1982 года» принял возглавляемый академиком Михаилом Яковлевичем

Маровым журнал «Астрономический вестник. Исследования Солнечной системы». В отличие от «Nature», в нем не запрещают разглашать содержание готовящихся к печати статей, и в октябре 2011 г. Ксанфомалити сообщил о своем открытии на международной конференции «Происхождение и эволюция биосферы» в городе Ретимно на острове Крит. Доклад его встретили холодно...

В январе 2012 г. статья увидела свет – с пометкой «Публикуется на правах дискуссии». Редакция давала понять, что с автором она отнюдь не согласна. При этом уже в мае там же вышла и вторая статья Ксанфомалити – «Результаты новой обработки изображений, полученных с поверхности Венеры в 1975 году, в телевизионном эксперименте на аппарате «Венера-9»». Ее сопровождали несколько комментариев. Реакцию А.С. Селиванова и его давнего соратника по НИИ космического приборостроения, автора многих технических решений в телевизионных камерах аппаратов серии «Венера» Юрия Михайловича Гектина можно охарактеризовать так: «Нам не нравится предложенная Ксанфомалити трактовка, но других объяснений у нас нет». Главное, Селиванов и Гектин отметили, что использованные Ксанфомалити «методы и качество обработки замечаний не вызывают». Авторитетнейший биохимик академик Александр Сергеевич Спирин (1931–2020), знакомый с гипотезой еще по Ретимно, оценил энтузиазм Леонида Васильевича, назвав его статьи чрезвычайно своевременными и стимулирующими поиск; принципиальных запретов на венерианскую жизнь Спирин

не обнаружил. Поддержали Ксанфомалити и коллеги по ИКИ – Олег Леонидович Вайсберг и мечтательный Генрих Аронович Аванесов, автор нескольких научно-фантастических романов. Аванесов был одним из ответственных за проведение телевизионного эксперимента проекта «Вега» (снимки ядра кометы Галлея).

Против выступили двое – соавтор Флоренского геолог Александр Тихонович Базилевский из Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского (он настаивает, что «странный камень» является брекчией) и американец Дон Митчелл, выпускник Калифорнийского технологического института, специалист по компьютерным программам обработки, экс-сотрудник компании Microsoft. С давних пор увлеченный советской венерианской программой, «собаку съевший» на реконструкции панорам Венеры, Митчелл убежден, что фантазия Ксанфомалити разыгралась по вине артефактов телеметрической системы, закравшихся в избрания. Ксанфомалити этот довод про радиопомехи быстро отверг. Как и другой излюбленный аргумент его противников – насчет ветра. Для этого он обратился к собственной статье 1983 г., опубликованной в журнале «Космические исследования», где вместе с коллегами Леонид Васильевич анализировал скорость ветра у венерианской поверхности по акустическому шуму в микрофоне его «Грозы». По его расчетам, для перемещения объектов «силенок» у ветра не хватило бы; в некоторых других случаях ветер дул и вовсе в *противоположную* сторону...

О жизни на поверхности Венеры Ксанфомалити опубликовал порядка тридцати статей в российских («Астрономический вестник», «Доклады Академии наук», «Космические исследо-

вания», «Письма в Астрономический журнал», «Наука и жизнь») и зарубежных изданиях. На Западе его гипотезу встретили в штывы – чего стоит один эпизод, когда перед выступлением Ксанфомалити на ассамблее Международного астрономического союза в Голулу в 2015 г. Комиссия по астробиологии в полном составе демонстративно покинула зал. Леонид Васильевич объяснял это так: правящие бал американцы крайне ревнивы. Они «вбухали» огромные деньги в Марс – а жизни там так и не нашли. Ксанфомалити, кстати, этому очень удивлялся – он считал, что она *должна* там быть. И, конечно, американцам не понравилось, что какой-то выскочка из России захотел доказать существование жизни на Венере.

Впрочем, не намного лучше отнеслись и у нас. Да, новость о возможном обнаружении жизни на Венере с огромным удовольствием растиражировали многие сайты – от «общеполитических» до научных и, к сожалению, псевдонаучных. Свершений от русского космоса – заждались. Увы, порой интерес к гипотезе Ксанфомалити объяснялся желанием выдать на потеху публике очередную дешевую сенсацию.

В ИКИ на Ксанфомалити стали смотреть косо. Многие крутили у виска – мол, совсем спятил на старости лет! В 2013 г. Ксанфомалити не переизбрали в ученый совет ИКИ; от обиды он даже собрался увольняться... По-настоящему поверили ему лишь единицы. Например, академик Николай Семёнович Кардашёв (1932–2019; ЗИВ, 2012, № 2), наследник И.С. Шкловского в деле поиска связи с внеземными цивилизациями, и специалист по космической плазме и химической физике Валерий Николаевич Снытников – ведущий научный сотрудник Института катализа в Новосибирске.



С экс-заместителем председателя Московского общества греков А. Ф. Чартилиди (справа) в посольстве Греции в России. Март 2005 г.

Космосом Снытников занимается давно. Он стал автором гипотезы астрокатализа, согласно которой зародыши жизни появились в Солнечной системе гораздо раньше, чем принято считать, – еще в околожвездном диске. Потом, когда сформировались планеты, жизнь, если она не погибла, должна была пройти *точку бифуркации* – и эволюционировать разными путями, в зависимости от конкретных физических условий. С Ксанфомалити Снытников познакомился в 2007 г. на одной из первых конференций по происхождению и эволюции биосферы. Леонид Васильевич разглядел в Снытникове соратника. Он попросил его подумать над следующим... Как известно, земная жизнь строится на основе соединений углерода и воды, выступающей в качестве растворителя. А на чем могла бы строиться жизнь на Венере? Снытников предположил, что ключевую роль может играть азот. Добавим тот же углерод, кислород, серу... В земных условиях «смесь» из неорганических полимеров попросту ни к чему, в венерианских – может быть устой-

чивой и самовоспроизводимой. Растворитель – углекислый газ в сверхкритическом состоянии.

Возникла идея попробовать синтезировать такие соединения в лабораторных условиях. Ничего принципиально нового не требовалось – в Советском Союзе когда-то работали специальные установки, камеры высокого давления и требуемых температур, катализаторы. Нужны были не столько большие деньги, сколько *воля*, которая выразилась бы в предоставлении площадей, оборудования, кадров... При содействии экс-директора Института катализа СО РАН Валентина Николаевича Пармона, академика, вице-президента РАН, Ксанфомалити и Снытников пытались добиться поддержки со стороны Российского научного фонда и некоторых других организаций, доказать актуальность такой работы. Попытки оказались тщетными.

В апреле 2019 г. в престижном журнале «Успехи физических наук» вышла статья Ксанфомалити «Гипотетические признаки жизни на планете Венера: Ревизия результатов телевизионных экспериментов 1975–1982 годов». Написана она была в соавторстве со Снытниковым, Пармоном и академиком Львом Матвеевичем Зелёным, специалистом по физике плазмы, директором ИКИ в 2002–2017 гг., ныне научным руководителем Института. Поддержка со стороны Зелёного стала для затравленного Ксанфомалити глотком свежего воздуха – ему стало казаться, что что-то наконец меняется в лучшую сторону. Так случилось, что эта масштабная, итоговая статья стала для Ксанфомалити последней – 7 сентября 2019 г. Леонид Васильевич скончался.

Спустя год, осенью 2020 г., прогремели сразу две венерианские новости – в атмосфере планеты были найдены сначала фосфин, а затем глицин. Эти соединения могут быть биомаркерами, но пока все еще слишком шатко. Фосфин уже опровергнут: разрезавшие о нем британские ученые и примкнувшие к ним американцы поспешили. Независимый повторный анализ их спектроскопических данных показал, что использованные ими методы обработки могли создавать ложные положительные результаты из-за фонового шума – а сигнал фосфина был недостаточно сильным, чтобы считаться статистически значимым. На ошибку указали российские ученые: скорее всего, зарубежные коллеги попросту спутали фосфин с диоксидом серы.

Вообще же, гипотеза о существовании микроорганизмов в венерианских облаках, мягко говоря, не нова⁴. Еще в 1960-х гг. об этом рассуждал Карл Сэган (1934–1996)⁵. И смешивать ее с гипотезой Ксанфомалити о жизни на поверхности, на наш взгляд, нельзя, и вот почему. На определенной высоте температура и давление на Венере сопоставимы с земными. А вот о возмож-



Экскурсия по музею ИКИ РАН. 2007 г.

ности жизни при +470 °С и давлении почти в 100 атмосфер на поверхности, кроме Ксанфомалити, никто не смел и заикнуться. И в этом, как говорил А.С. Пушкин, дьявольская разница.

С момента, когда последний десантный аппарат побывал на поверхности



Блистательный лектор – неутомимый популяризатор науки. 2010-е гг.

⁴ Недавно анализ возможного существования жизни («активных динамических структур») в облачном слое Венеры был сделан в статье Коцюрбенко О.Р. Есть ли жизнь на... Венере? // Земля и Вселенная, 2021, № 3.

⁵ Американский астроном, астрофизик, профессор, популяризатор науки, один из пионеров в области экзобиологии. Дал толчок проекту по поиску внеземного разума SETI, внес свой вклад практически в каждую миссию американских АМС.



У макетов АМС «Венера» в ИКИ РАН. 2010-е гг.

Венеры, прошло уже почти 40 лет – телевизионные средства шагнули далеко вперед. Ксанфомалити был убежден, что подтвердить или опровергнуть его гипотезу сможет только новая миссия на венерианскую поверхность. И он очень хотел, чтобы она снова стала отечественной, – большие надежды возлагал он на перспективный проект «Венера-Д» (ЗиВ, 2012, № 3).

XANTHOMALITIA

Приверженцы «чистой астрофизики» привыкли смотреть на планетчиков свысока: подумаешь, мол! То ли дело наши черные дыры!.. Для Ксанфомалити же планеты были делом всей жизни. «Только на планетах, – говорил он, – так тесно связаны астрономические явления, физические, геологические и биологические процессы». Меркурий, Венера, Луна, Марс... Десятки, точнее, сотни научных и популярных статей, выступлений на радио и телевидении, ярких, запоминающихся лекций посвятил Ксанфомалити не только этим телам, которые он сам непосредственно изучал, но и Юпитеру, Сатурну, Урану

и Нептуну⁶, их спутникам, Плутону, кометам и астероидам...

18 августа 1985 г. Николай Степанович Черных (1931–2004) из Крымской астрофизической обсерватории, талантливый «ловец» астероидов, обнаружил в главном поясе очередной ранее неизвестный объект. Эту глыбу из семейства Хильды, диаметром около 32 км, Черных, на правах первооткрывателя, назвал в честь корифея планетологии Леонида Ксанфомалити – (7394) Xanthomalitia.

Леонид Васильевич повторял: книга природы планет – неисчерпаема. «Пока в ней прочтены только первые страницы, которые часто возвращают нас к ее началу, заставляя снова и снова пересматривать сведения, ранее казавшиеся несомненными».

Данная статья публикуется автором в преддверии его большой книги – полной биографии Леонида Васильевича Ксанфомалити.

⁶ Ксанфомалити Л.В. Дальше – только звезды («Вояджер-2») // Земля и Вселенная, 1990, № 3; Ксанфомалити Л.В. Нептун, его кольца и спутники // Земля и Вселенная, 1991, № 2–3.

М.В. ЛОМОНОСОВ. У ИСТОКОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАНЕТНЫХ АТМОСФЕР И ФИЛОСОФИИ РУССКОГО КОСМИЗМА

ЗЕЛЁНЫЙ Лев Матвеевич,

академик РАН

DOI: 10.7868/50044394822030069

В жизни каждого человека случаются звездные минуты, но у Михаила Васильевича Ломоносова их было много. Человек острого ума и энциклопедических знаний, Ломоносов был не только великим ученым, неутомимым организатором, основателем первого российского университета и создателем первой отечественной химической лаборатории, но и поэтом. В 1743 г., находясь под арестом за «дерзкое» поведение при академических распрях между «русской» и «немецкой» партиями, он написал *«Вечернее размышление о Божием величестве при случае великого северного сияния»* – стихотворение, которое часто цитируется и поныне:

<...>

Открылась бездна звезд полна;
Звездам числа нет, бездне дна.

<...>

Уста премудрых нам гласят:
«Там разных множество светов
Несчетны солнца там горят,
Народы там и круг веков;
Для общей славы божества
Там равна сила естества».

<...>

Этим стихотворением Ломоносов предвосхитил многие будущие открытия и положил начало философии, которая в XIX и XX вв. развилась в идеи



Михаил Васильевич Ломоносов

русского космизма о тесной связи космоса, процессов, происходящих в космическом пространстве, и повседневной жизни людей. Эти идеи вдохновляли таких выдающихся ученых и философов, как Федоров, Вернадский, Циолковский. Через Циолковского идея космических путешествий стала достоянием практиков – инженеров и конструкторов Цандера, Глушко, Королёва и многих других прославленных творцов космической эры. Вдохновленные космосом, эти люди создали технологический задел, ставший основой отечественной ракетно-космической техники, которая позволила нашей стране стать первой и с запуском искусственного спутника, и с полетом Ю.А. Гагарина. Их великий предшественник



Дом М.В. Ломоносова в Марбурге и памятная доска

Ломоносов воплощал идею вечного стремления человека к познанию и одновременно признание могущества окружающей человека природы¹.

«Жажда науки была сильнейшею страстью сей души, исполненной страстей. Историк, ритор, механик, химик, минералог, художник и стихотворец, он все испытал и все проник... Но науки точные были всегда главным и любимым его занятием», – писал А.С. Пушкин.

Неверно думать о Ломоносове как о самоучке. Очень много представленный современной ему западной науки он почерпнул во время пребывания в Марбурге в 1736–1739 гг. Его учитель, профессор Кристиан Вольф, был одним из наиболее известных философов того времени. Ломоносов слушал лекции Вольфа по многим наукам, в том чис-

ле и по астрономии. В эти же годы он познакомился с трудами Ньютона. Интерес к астрономии, возникший в Германии, развился в России. После возвращения на родину, Ломоносов при просмотре русских летописей обращал специальное внимание на все записи астрономических явлений. Ломоносов писал, что серьезно занялся астрономией в 30-летнем возрасте, в 1741 г.

Стоит сказать, что Кристиан Вольф отечески относился к Ломоносову – финансово поддерживал его, когда присылаемых из России средств не хватало на бурную студенческую и личную жизнь.

Вольф сразу оценил талант своего ученика и предвидел его великое будущее. Он писал, что студент Ломоносов отличается чрезвычайными способностями: регулярно посещает лекции по математике, философии и физике и достиг выдающихся успехов в этих дисциплинах и что, став в России ученым, принесет большую пользу своей стране.

За свою недолгую жизнь М.В. Ломоносов совершил множество ярких открытий, и одним из них явилось откры-

¹ Журнал «Земля и Вселенная» неоднократно обращался к личности М.В. Ломоносова и его трудам и многогранному таланту, см.: Ченкал В.Л. «Астрономия в поэзии М.В. Ломоносова» (ЗиВ, № 5, 1965); Ильина Т.Д. «Ломоносов и развитие гравиметрии», Невская Н.И. «Ломоносов и астрономия» (ЗиВ, № 5, 1986).

тие атмосферы у планеты Венера. История этого открытия очень интересна и поучительна.

Орбиты Земли и Венеры наклонены друг к другу на 3.4° , поэтому обычно в своем движении по небу Венера проходит выше или ниже солнечного диска. Однако примерно раз в столетие нижнее соединение Венеры (ее прохождение между Землей и Солнцем) происходит в момент пересечения планетой плоскости орбиты Земли. В такие моменты с точки зрения земного наблюдателя Венера проходит по диску Солнца. Прохождения (транзиты) Венеры происходят дуэтами: между первым и вторым транзитом проходит 8 лет, а сами дуэты разделены примерно 105.5 годами. Транзиты Венеры по диску Солнца происходили в 1761 и 1769, 1874 и 1882, 2004 и 2012 гг., а последующие смогут увидеть только наши потомки в 2117 и 2125 гг.

При жизни М.В. Ломоносова прохождение Венеры случилось только один раз – 26 мая (6 июня по новому стилю) 1761 г. К сожалению, до прохождения 1769 г. ученый не дожил (он умер 4 (15) апреля 1765 г.). Наблюдения прохождения Венеры 1761 г. явились первым крупным международным астрономическим проектом, посвященным решению важной научной задачи – определению расстояния между Землей и Солнцем. Сейчас это расстояние знает любой школьник – оно составляет около 150 млн км, но на тот момент оно было неизвестно. Чтобы определить расстояние до Солнца,

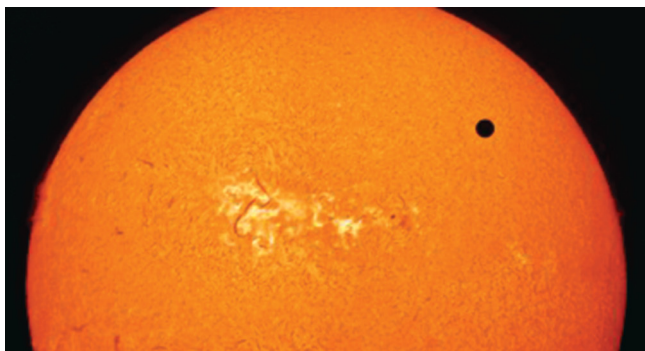


Профессор Кристиан Вольф

необходимо было пронаблюдать прохождение Венеры из разных уголков земного шара, точно измеряя интервал времени между вступлением Венеры на солнечный диск и сходом с него. Это так называемый метод параллакса. (На врезке можно найти подробное объяснение особенностей этого метода.) В наблюдениях приняли участие 176 астрономов из разных стран, сами наблюдения проводились в 117 пунктах, из которых 4 находи-

лись в России (в Санкт-Петербурге, Иркутске, Тобольске и Селенгинске). В Тихом океане необходимые замеры провела экспедиция знаменитого капитана Кука. Не для всех астрономов, которые приняли участие в этих наблюдениях, путешествия заканчивались удачно. К примеру, сильно не посчастливилось французскому астроному Гийому де ла Галезьеру. «Злоключения этого ученого дворянина представляют гротескный пример того, что некоторые готовы претерпеть в погоне за познанием» (Тысяча и одна ночь. Астрономические этюды / Пер. с итальянского под научной ред. О.С. Сажиной. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2022. 192 с., в печати).

К 1761 г. М.В. Ломоносов уже наконец достиг высокого положения в российской научной иерархии, и



Прохождение Венеры по диску Солнца

Задача. МЕТОД ПАРАЛЛАКСА

Методика была впервые испытана в 1671 г., когда два французских астронома – Жан Рише и Джованни Доменико Кассини – измерили параллакс планеты Марс, одновременно наблюдая Красную планету в телескоп. В ходе этих наблюдений Кассини находился в Париже, а Рише – в Кайенне (Французская Гвиана). Измерив разницу в видимом положении Марса относительно близких звезд, Рише и Кассини впервые оценили расстояние от Земли до Солнца, т. е. величину одной астрономической единицы (а.е.), в 140 млн км (на 6.4% меньше реальной).

Каким же образом ученые смогли оценить это расстояние? Дело в том, что наблюдения видимого движения планет Солнечной системы по небесной сфере позволяют определить лишь относительные размеры орбит планет, т. е. измерить большие полуоси орбит планет в единицах расстояния между Землей и Солнцем. Так, Венера никогда не удаляется от Солнца больше, чем на 48° , это означает, что ее орбита лежит ближе к Солнцу, чем орбита Земли, а большая полуось орбиты составляет 0.723 большой полуоси орбиты Земли. Однако линейные (абсолютные) размеры орбит долгое время оставались неизвестными.

Для иллюстрации применения метода параллакса рассмотрим наблюдения прохождения Венеры по диску Солнца. Во время прохождения Венеры по диску Солнца в 1761 г. наблюдения велись во многих географически далеко разнесенных друг от друга районах Земли.

Ограничимся для простоты двумя обсерваториями. Первая (1) расположена в Санкт-Петербурге, из которой событие наблюдалось коллегами М.В. Ломоносова, а сам он вел наблюдения из своего дома. Вторая (2) обсерватория расположена вблизи острова Таити, где прохождение Венеры по диску Солнца наблюдал знаменитый капитан Дж. Кук. Будем для простоты считать, что наблюдаемая длительность транзита (1) длилась ровно 6 часов, транзита (2) на 14 минут 22 секунды меньше.

Как по этим данным определить расстояние от Земли до Солнца, если Санкт-Петербург расположен примерно на 60° с.ш., а Таити – примерно на 17.5° ю.ш.? Угловой диаметр Солнца известен и равен 31 угловой минуте. Прицельный параметр Венеры (т.е. минимальное расстояние между траекторией

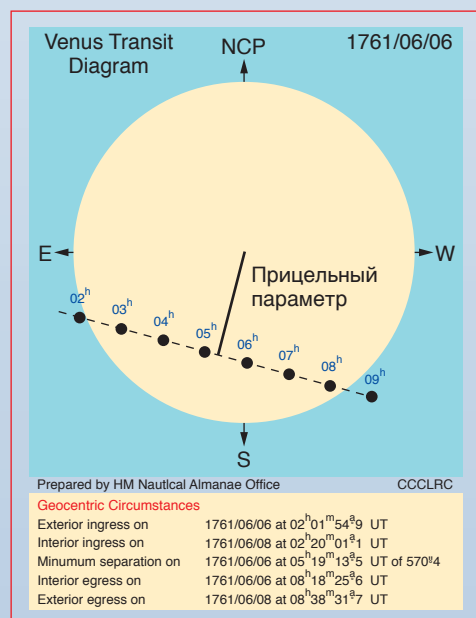
планеты и центром солнечного диска в долях радиуса Солнца) во время прохождения составил величину около 0.7. Эксцентриситетами орбит Венеры и Земли, а также наклонением орбиты Венеры к эклиптике в нашем простом подходе мы пренебрежем.

Обозначим расстояние от Земли до Солнца 1 а.е. и будем считать его неизвестным.

Сначала оценим проекцию расстояния между Санкт-Петербургом и Таити на ось, перпендикулярную плоскости земного экватора, следующим образом:

$$D = R_\odot \cdot (\sin 60^\circ + \sin 17.5^\circ) = 1.167 R_\odot.$$

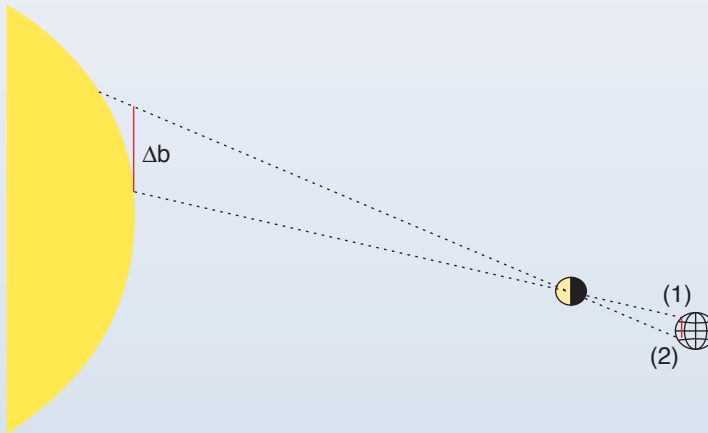
Теперь вспомним, что большая полуось орбиты Венеры есть величина 0.723 а.е. В момент прохождения Венера находится



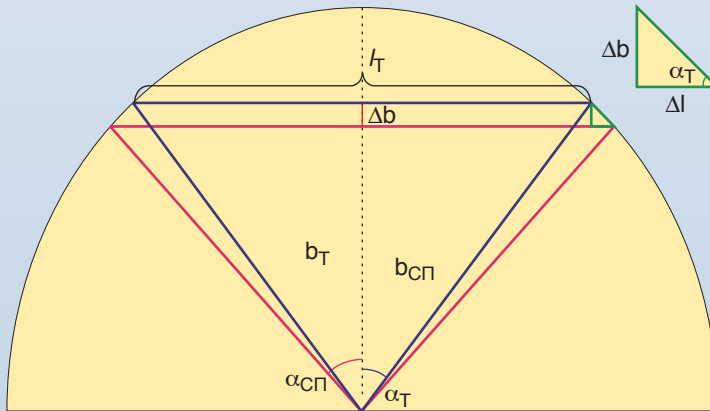
Видимое движение Венеры по диску Солнца 6 июня 1761 г. Показан прицельный параметр Венеры.

между Землей и Солнцем. Расстояние от Солнца до Венеры 0.723 а.е., расстояние между Венерой и Землей есть $1 - 0.723 = 0.277$ а.е. Соответственно, хорда пути Венеры по диску Солнца, наблюдаемая с Таити, будет лежать «выше» хорды пути Венеры, наблюдаемой из Санкт-Петербурга, на Δb :

$$\Delta b = 0.723 \cdot 1.167 R_{\odot} / 0.277 = 3.045 R_{\odot}$$



При наблюдениях из разных точек земной поверхности – из Санкт-Петербурга (1) и с Таити (2) – Венера проецируется на разные участки солнечного диска



Длина хорды прохождения Венеры по диску Солнца, наблюдаемая с Таити, $l_T = 2R_{\odot} \cdot \sin \alpha_T$, она же равна $l_T = t_T \cdot V$, где V – скорость Венеры, t_T – продолжительность транзита при наблюдениях с Таити. Длина хорды, наблюдаемая из Санкт-Петербурга, $l_{СП} = 2R_{\odot} \cdot \sin \alpha_{СП}$, и она же $l_{СП} = t_{СП} \cdot V$. Отметим также, что $l_{СП} - l_T = 2\Delta l$.

Углы α_T и $\alpha_{СП}$ отличаются друг от друга на малый угол $\Delta \alpha$.

Прицельное расстояние Венеры при наблюдениях с Таити:

$$b_T = R_{\odot} \cdot \cos \alpha_T$$

Прицельное расстояние Венеры при наблюдениях из Санкт-Петербурга:

$$b_{СП} = R_{\odot} \cdot \cos \alpha_{СП}$$

Расстояние между хордами равно $\Delta b = R_{\odot} \cdot (\cos \alpha_T - \cos \alpha_{СП})$.

Поскольку $\alpha_{СП} = \alpha_T + \Delta \alpha$, воспользуемся формулой для косинуса суммы углов

($\cos(a + b) = \cos a \cdot \cos b - \sin a \cdot \sin b$) и учтем, что угол $\Delta \alpha$ очень мал, а значит, $\cos \Delta \alpha \approx 1$, $\sin \Delta \alpha \approx \Delta \alpha$ (в радианной мере).

$$\Delta b = R_{\odot} \cdot \sin \alpha_T \cdot \Delta \alpha$$

С другой стороны, из свойств прямоугольного треугольника следует, что

$$\Delta b / \Delta l = \operatorname{tg} \alpha_T$$

Разница времени прохождения Венеры при наблюдениях из Санкт-Петербурга и с Таити

$$\Delta t = 2 \Delta l / V = 2 \Delta b / \operatorname{tg} \alpha_T \cdot t_{СП} / l_{СП} = 2 \Delta b / \operatorname{tg} \alpha_T \cdot t_{СП} / (2 R_{\odot} \cdot \sin \alpha_{СП}).$$

Отсюда

$$R_{\odot} = \Delta b \cdot t_{СП} / \Delta t \cdot (\operatorname{tg} \alpha_T \cdot \sin \alpha_{СП})^{-1}.$$

Поскольку прицельный параметр Венеры во время прохождения $b_T / R_{\odot} \approx b_{СП} / R_{\odot} \approx 0.7$, $\sin \alpha_{СП} = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha_{СП}} \approx 0.7$ и $\operatorname{tg} \alpha_T \approx 1$, и

$$R_{\odot} = 109 R_{\oplus}$$

Угловой диаметр Солнца в июне равен 31 угловой минуте (около $9 \cdot 10^{-3}$ радиан). Следовательно, расстояние до Солнца есть 154 млн км, что очень близко к расстоянию между Землей и Солнцем в афелии (152 млн км).

(Л. АНАНЬЕВА, с.н.с., ИКИ РАН)

организацию наблюдений прохождения Венеры поручили ему. Ломоносов провел подробные и точные расчеты времени начала и продолжительности транзита для разных районов и снарядил 3 экспедиции в Сибирь, снабдив их необходимым оборудованием, включая телескопы и закопченные стекла.

Две экспедиции возглавили русские астрономы С.Я. Румовский и Н.И. Попов. Во главе третьей стоял французский астроном Шапп Д'Отерош. Кроме того, предполагалось провести наблюдения в самом Петербурге на Академической обсерватории. Сибирские экспедиции постигла неудача из-за неблагоприятной погоды, о чем Румовский написал Ломоносову из Селенгинска:

«Ежели бы 26 день мая был ясный и мне бы удалось сделать надежное примечание над Венерою, то я бы без всякого сомнения остался в здешнем наихудшем всей Сибири городе до того времени, пока определил accurately

длину сего места. Но мое наблюдение того не стоит».

Наблюдения в Санкт-Петербурге были осложнены вследствие очередного скандала, возникшего по инициативе секретаря академии Тауберта, между академиком Эпинусом и академическими «обсерваторами» А.Д. Красильниковым и Н.Г. Кургановым. Сам Ломоносов остался в Петербурге и проводил измерения в своем новом особняке на Большой Морской (сейчас там находится музей).

Ломоносов поставил перед собой другую задачу, даже более интересную – наблюдать не само прохождение продолжительностью около 6 часов, а моменты контактов, т. е. моменты вступления Венеры на диск Солнца и схода с него, каждое из которых длилось около 20 минут.

Для своих наблюдений Ломоносов использовал небольшой телескоп апертурой 7 см с незадолго до этого изобретенным объективом Доллонда,

устраняющим хроматическую аберрацию, и «не густо копченное» стекло. Интуиция и богатый опыт астронома-наблюдателя не подвели ученого – изготовление оптимального по степени пропускания оптического фильтра и наблюдения «отдохнувшим» глазом помогли ему заметить тонкие оптические эффекты, вызванные рассеянием солнечных лучей в атмосфере Венеры.

В подготовке этих наблюдений Ломоносов проявил и свой недюжинный талант экспериментатора. Президент АН СССР, крупнейший оптик, Сергей Иванович Вавилов очень точно сказал об этом: *«...по объёму и оригинальности своей оптико-строительной деятельности Ломоносов был... одним из самых передовых оптиков своего времени и, безусловно, первым русским творческим опто-механиком».*

«Ожидая вступления Венерины на Солнце... увидел наконец, что солнечный край чаемого вступления стал неясственен и несколько будто стусеван, а прежде был весьма чист и везде равен... При вступлении Венеры из Солнца, когда передний ее край стал приближаться к солнечному краю и был (как просто глазом видеть можно) около десятой доля Венерины диаметра, тогда появился на краю Солнца пупырь, который тем явственнее учинился, чем ближе Венера к выступлению приходила... По сим примечаниям господин советник Ломоносов рассуждает, что планета Венера окружена знатною воздушною атмосферою, таковою (лишь бы не большею), какова обливается около нашего шара земного», – писал Ломоносов в своем труде «Явление Венеры на Солнце, наблюденное в Санкт-Петербургской импе-



Небольшой телескоп Ломоносова (7 см), оснащенный только что изобретенными линзами Доллонда для устранения хроматических искажений, и слабо закопченный фильтр

раторской академии наук мая 26 дня 1761 года».

В астрономии этот феномен рассеяния света, отражение световых лучей при скользящем падении («пупырь»),



Наблюдения Ломоносовым

получил его имя – «явление Ломоносова».

28 июня 1761 г. Ломоносов сделал официальный доклад в Академии о своем открытии, 4 июля сдал в печать и 17 июля опубликовал в 300 экземплярах подробную научную работу на русском. Уже в августе 1761 г. три сотни экземпляров пионерского труда, переведенного на немецкий язык, были напечатаны и отправлены за рубеж, по всем стандартным адресам рассылки Академии.

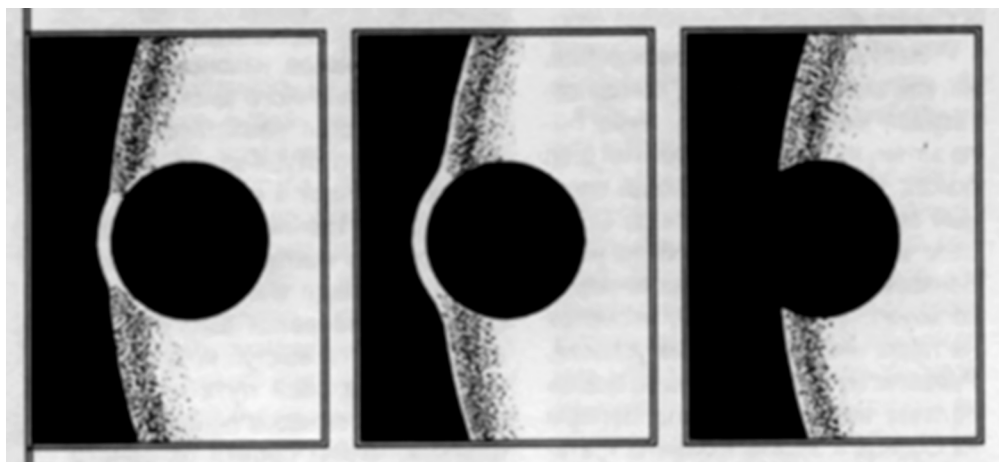
К сожалению, приоритет М.В. Ломоносова неоднократно оспаривался. Прохождение Венеры наблюдали также Уильям Гершель и Иоганн Иероним Шретер, и в зарубежной литературе именно они часто указывались как первооткрыватели атмосферы Венеры. Тем не менее к середине 50-х годов XX в. в основном усилиями отечественных астрономов приоритет Ломоносова был восстановлен.

Однако в 2012 г. американские астрономы Пасахов (Pasachoff) и Шихан (Sheehan) снова попытались пошатнуть приоритет Ломоносова в открытии атмосферы Венеры. Они доказывали, что с тем простым инстру-

ментом, который был в распоряжении Михаила Васильевича, сделать такое тонкое наблюдение невозможно. Чтобы разрешить этот спор, известный российский физик Владимир Дмитриевич Шильцев (ныне президент RASA – Ассоциации русскоговорящих ученых в США) в июне 2012 г. повторил наблюдение прохождения Венеры с помощью двух старинных телескопов, аналогичных телескопу Ломоносова (рефракторов-апохроматов Доллонда с апертурой 67 и 40 мм). Шильцев с успехом показал, что Ломоносов действительно мог наблюдать «пупырь» преломления солнечных лучей в атмосфере Венеры и таким образом закрыл споры о его приоритете в открытии атмосферы Венеры (V.I. Shiltsev, *Journal of Astronomical History and Heritage*, 17(1), 85–112, 2014).

Ломоносов оказался не только блестящим наблюдателем, обнаружившим и описавшим новый оптический эффект, но и провидцем, совершенно верно интерпретировавшим свои наблюдения. Он был неутомимым борцом с мракобесием, рядившимся в одежды религиозного догматизма. Между двумя теориями строения Солнечной системы,

«Явление Ломоносова»



Птолемеевой и Коперниковой, Михаил Васильевич отдавал решительное предпочтение последней и всячески ее отстаивал, не страшась нападок со стороны церковных иерархов.

«Читая здесь о великой атмосфере около помянутой планеты, скажет кто: подумать-де можно, что в ней потому и пары восходят, сгущаются облака, падают дожди, протекают ручьи, собираются в реки, реки втекают в моря, произрастают везде разные прозябения, ими питаются животные. И сие-де, подобно Коперниковой системе, противно-де закону.

От таковых размышлений происходит подобный спор о движении и о стоянии Земли. Богословы западных церкви хотят доказать, что Земля стоит... Итак, идолопоклонническое суеверие держало астрономическую Землю в своих челюстях, не давая ей двигаться, хотя она сама свое дело и божие повеление всегда исполняла. Между тем астрономы принуждены были выдумывать для изъяснения небесных явлений глупые и с механикою и геометриею прекословящие пути планетам, циклы и эпициклы (круги и побочные круги).

Коперник возобновил, наконец, солнечную систему, коя имя его ныне носит, показал преславное употребление ее в астрономии, которое после Кеплер, Невтон и другие великие математики и астрономы довели до такой точности, какую ныне видим в предсказании небесных явлений, чего по земнотоятельной системе отнюдь достигнуть невозможно», – писал Ломоносов в «Прибавлении». В этот труд Ломоносов включил все свои философские рассуждения, которые появились у него из-за открытия, связанного с наблюдением прохождения Венеры.

Открытие Ломоносовым атмосферы на Венере имело не только чисто научное, но и мировоззренческое значение. Конечно, уже среди ученых, да

и вообще культурных людей, не оставалось сомнений в правильности учения Коперника о движении Земли. Однако в России духовенство еще боролось с «коперникианской ересью». Тем более активно шла борьба с распространением учения о множественности миров.

Правда, уже в 1740 г. в России, несмотря на противодействие духовенства, вышел перевод сочинения французского ученого Фонтенеля «Разговоры о множестве миров». Но еще и в 1756 г. Святейший Синод обращался к императрице Елизавете с просьбой отобрать повсюду «крамольную книгу» и издать указ: «Дабы никто отнюдь ничего писать и печатать как о множестве миров, так и о чем другом вере святой противном, и с честными нравами несогласными под жесточайшим за преступление наказанием не отваживался».

Ломоносов прямо не высказывался против религии, но заявлял о том, что существуют две истины: научная и религиозная и резко выступил за независимость науки от религии. В этом же сочинении он поместил сатирическое стихотворение, направленное в защиту учения Коперника, используя и свое незаурядное чувство юмора:

Случились вместе два астронома в пиру
И спорили весьма между собой в жару.
Один твердил:

«Земля, вертясь, круг Солнца ходит»;
Другой – что Солнце все с собой планеты
водит.

Один Коперник был, другой слыл Птолемей.
Тут повар спор решил усмешкою своей.
Хозяин спрашивал:

«Ты звезд теченье знаешь?
Скажи, как ты о сем сомненье
рассуждаешь?»

Он дал такой ответ:

«Что в том Коперник прав,
Я правду докажу, на Солнце не бывав.
Кто видел простака из повара такого,
Который бы вертел очаг кругом
жаркова?»

Сын своего времени, М.В. Ломоносов не был атеистом. Как и многие другие ученые, мыслители и философы XVIII века – Декарт, Паскаль, Бэкон, Галилей, Лейбниц, – Ломоносов много думал о соотношении веры и знания, науки и религии. Он думал и о том, не противоречит ли его новое открытие Священному Писанию. И пришел к выводу, что нисколько не противоречит.

«Толкователи и проповедники Священного писания показывают путь к добродетели, представляют награждение праведным, наказание законопреступным и благополучие жития, с волею божиею согласного. Астрономы открывают храм божеской силы и великолепия, изыскивают способы и ко временному нашему блаженству, соединенному с благоговением и благодарением ко Всевышнему. Обоим обществу удостоверяют нас не токмо о бытии божием, но и о несказанных к нам его благодеяниях. Грех всевать между ими плевелы и раздоры!

Больше не остается, как только коротко сказать и повторить, что знание природы, какое бы оно имя ни имело, христианскому закону не противно; и кто природу исследовать тщится, Бога

знает и почитает», – отвечал Ломоносов на критику церковных иерархов.

Ответ Ломоносова Священному Синоду вбирает в себя всю западноевропейскую и российскую предысторию и обезоруживает своей убедительностью, простотой, здравым смыслом, свободой, мудрым изяществом и – чувством юмора:

«Некоторые спрашивают, ежели-де на планетах есть живущие нам подобные люди, то какой они веры? Проповедано ли им Евангелие?... Ежели кто про то знать или их обратить и крестить хочет, тот пусть по евангельскому слову... поедет для того ж и на Венеру». И ехидно добавляет в конце:

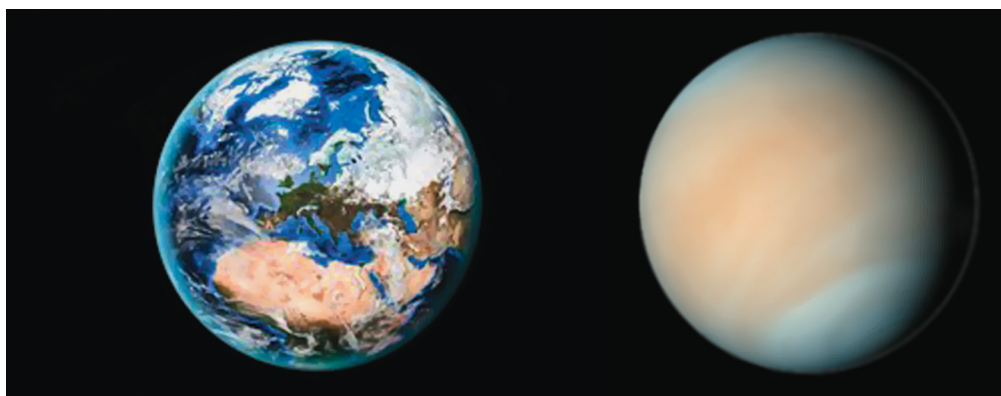
«...только бы труд его не был напрасен. Может быть тамошние люди в Адаме не согрешили, и для того всех из того следствий не надобно...»

Но чтобы «поехать на Венеру» пришлось подождать целых два столетия...

Венеру часто называют сестрой Земли. Планеты имеют близкие размеры и массы (радиус Венеры составляет 0.95 радиуса Земли, а масса – 0.815 масс Земли). Среднее расстояние между Венерой и Солнцем составляет 0.723 а.е., а освещенность на орбите Венеры примерно вдвое больше земной. Венера постоянно окутана плотными белыми облаками, не позволяющими наблюдать ее поверхность, что сильно затрудняло ее дистанционные исследования с Земли. Еще в 50-х годах прошлого века считалось, что на поверхности Венеры теплый и влажный климат, подобный климату



«Случились вместе два астронома в пиру. И спорили весьма между собой в жару...»



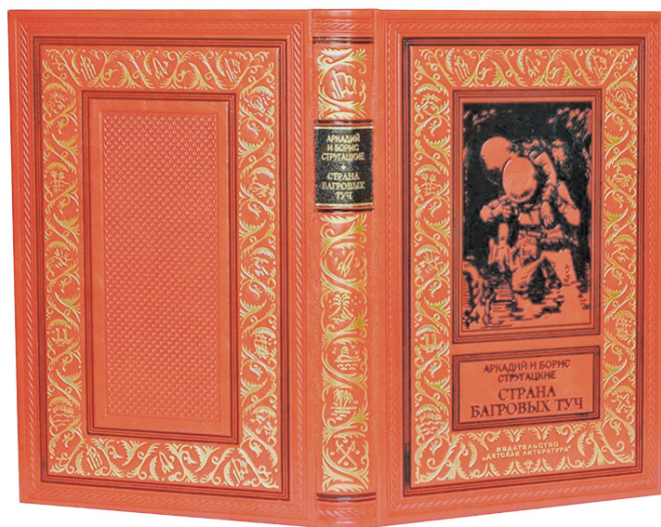
Планеты-сестры: Земля и Венера

на ранней Земле, жидкая вода, жизнь, были гипотезы об озерах нефти на поверхности.

Первая, немного наивная, книжка братьев Аркадия и Бориса Стругацких (ставших впоследствии «властителями дум» советской интеллигенции) «Страна багровых туч», посвященная советской экспедиции на Венеру, описывала подвиги космонавтов, продирающихся сквозь тропические джунгли и сражающихся с летающими пиявками. Она отражала представления ученых (младший из братьев был известным астрономом) о Венере, сложившиеся до начала космической эры.

Уже вскоре после запуска первого спутника началась последовательная «осада» Венеры в основном советскими космическими аппаратами – и «сестра Земли» начала один за другим преподносить

исследователям малоприятные сюрпризы. Венера оказалась совсем не похожей на Землю. Атмосферное давление у поверхности планеты составляло 92 атм (как в океане на километровой глубине!), а температура достигала почти $+500\text{ }^{\circ}\text{C}$. Атмосфера Венеры оказалась очень сухой: паров воды в ней в 24 тыс. раз меньше, чем на Земле. В составе атмосферы – углекислый газ, азот, аргон и сернистый газ. Остальные вещества – водяной пар, угарный газ и другие – присутствуют в виде малых примесей. Облака, окутывающие



Обложка научно-фантастического произведения
А. и Б. Стругацких
«Страна багровых туч»

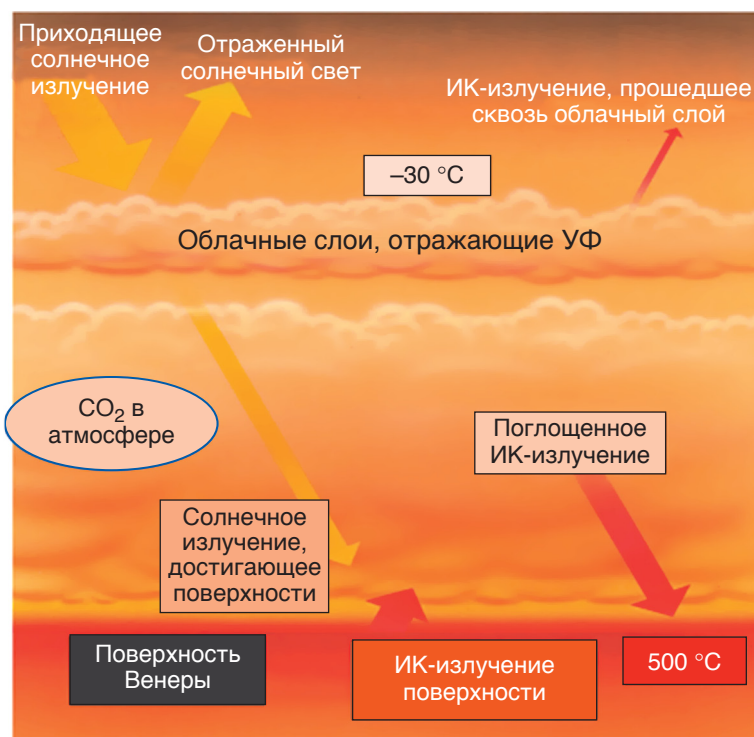


Схема образования парникового эффекта на Венере

Венеру, состоят не из воды, а из концентрированной серной кислоты. Вокруг своей оси Венера вращается очень медленно: один оборот она делает за 243 сут., причем ее вращение обратное (в сторону, противоположную ее вращению вокруг Солнца). Собственное магнитное поле отсутствует.

Почему планеты-сестры оказались такими разными? Какой трагический урок преподает нам Венера?

Запредельно высокая температура на поверхности Венеры возникает из-за сильнейшего парникового эффекта, отвечающего примерно за 450 градусов дополнительного нагрева. Парниковый эффект обусловлен непрозрачностью атмосферы для собственного теплового излучения. Если в оптическом диапазоне атмосфера планеты прозрачна, солнечные лучи нагревают

поверхность и нижние слои атмосферы, но их тепловое излучение не может уйти в космос, и температура растет. Парниковый эффект в атмосфере Земли составляет около 35 °C (среднегодовая температура Земли близка к +14 °C, а в отсутствии атмосферы она составила бы около -20 °C). Парниковый эффект спасает нашу планету от замерзания, но для Венеры он оказался смертельным.

Суть в том, что, начиная с определенной температуры, парниковый эффект начинает неудержимо «разгоняться» благодаря положительным обратным связям. При повышении температуры увеличивается испаряемость с поверхности океанов, а водяной пар – сильный парниковый газ. Температура растет, а с ней увеличивается испаряемость, вызывающая, в свою очередь,



Венера



Земля

Поверхности Земли и Венеры

новый рост температуры – и так до тех пор, пока океаны полностью не выкипят. Также при высокой температуре происходит разложение карбонатов (известняка, доломита, карбоната и т.п.) и массовое выделение в атмосферу углекислого газа, что еще больше повышает атмосферное давление и температуру у поверхности планеты. Для Венеры это, скорее всего, основной сценарий климатической катастрофы. Определенную роль в запуске этих эффектов на Венере на заре ее существования могло сыграть и более близкое к ней раннее горячее молодое Солнце.

Для Земли, которая подвергается все более сильному воздействию бурно развивающейся цивилизации, климатический сценарий оказывается, конечно, гораздо сложнее. Несмотря

на ожесточенные споры, однозначного мнения о доминировании антропогенных эффектов в действительно наступающем на нас потеплении нет (см., например, статью Г.А. Аванесова о возможной важной роли в этих событиях так называемых циклов Миланковича в этом номере ЗиВ). Тем не менее человечество должно учитывать, как говорят, «worst case scenario» (то есть возможность самого худшего варианта) и идти по пути постепенного снижения своего воздействия на климат планеты. Необходимы всеобщие усилия по сдерживанию роста выбросов углекислого газа и созданию «безуглеродной энергетики», чтобы уберечь нашу планету от участи Венеры. Так что Грета Тунберг, несмотря на все ее странности, по-видимому, во многом права.



Активные вулканы, насыщающие атмосферу Венеры частицами серы, в окружении серных облаков (в изображении художника)

Но вернемся с Земли снова на Венеру. Как же выглядит «сестра Земли», обещанная парниковым эффектом? Венера отличается от Земли тем, что на ней нет тектоники плит, зато очень много вулканов, часть из которых действует до сих пор. Вулканы выбрасывают в атмосферу сернистый газ, который после ряда фотохимических реакций превращается в серную кислоту. Плотные облака, окутывающие Венеру, состоят из капелек концентрированной серной кислоты. По снимкам, полученным советскими посадочными аппаратами «Венера-9, -10, -13, -14», поверхность планеты представляет собой каменистую равнину, покрытую слоистыми отложениями или усыпанную вулканическими бомбами. Как показали радарные изображения поверхности, полученные космическим аппа-

ратом (КА) «Магеллан» (США), за последние примерно 500 млн лет свыше 80% поверхности Венеры было залито базальтовой лавой. Условия на поверхности поистине адские, к ним очень подходит еще одно стихотворение М.В. Ломоносова (написанное, правда, не про Венеру, а про Солнце):

«Там огненные валы стремятся
И не находят берегов;
Там вихри пламенные крутятся,
Борющиеся множество веков;
Там камни, как вода, кипят,
Горящи там дожди шумят».

СССР был бесспорным лидером в изучении Венеры. Начиная с 1961 г. к Венере было отправлено 19 советских научно-исследовательских аппаратов, из которых 18 успешно достигли планеты и получили важные научные

результаты. Первые миссии были пролетными, но уже станция «Венера-3» (запущена 16 ноября 1965 г.) попала на Венеру, став первым космическим аппаратом (КА), достигшим поверхности другой планеты. Поскольку в тот момент ученые и конструкторы не знали, какие чудовищные условия царят на Венере, то первые спускаемые аппараты были раздавлены атмосферным давлением на той или иной высоте, и только «Венера-7» (запуск 17 августа 1970 г.) совершила мягкую посадку и передала научные данные непосредственно с поверхности. 15 декабря 1970 г. спускаемый аппарат станции «Венера-7» впервые в мире совершил посадку на поверхность Венеры в 2000 км от утреннего терминатора на ночной стороне. Спускаемый аппарат передавал информацию в течение 53 минут, в том числе 20 минут с поверхности. Измерялась температура атмосферы на спуске, на поверхности она достигла $+475 \pm 20$ °С, а давление составило 90 ± 15 атм.

После этого началась великая эпопея успешного исследования самого негостеприимного мира Солнечной системы. Возглавил эту работу Георгий Николаевич Бабакин. Сергей Павлович Королёв решил тогда сосредоточиться на пилотируемой космонавтике и передал всю документацию по межпланетным космическим аппаратам в организацию, возглавляемую тогда Г.Н. Бабакиным, которая теперь носит название «НПО им. С.А. Лавочкина». С тех пор «Лавочка», как ласково называют коллеги эту знаменитую космическую фирму, стала главным (и единственным) предприятием, ведущим в нашей стране ра-



Георгий Николаевич Бабакин
(1914–1971)

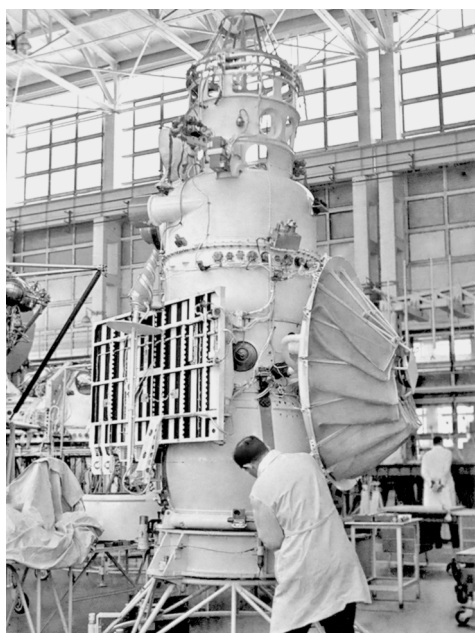
боты по межпланетным и лунным программам. Все прошлые и будущие экспедиции к Венере, о которых будет говориться ниже, готовились и будут готовиться на этом знаменитом предприятии.

27 марта 1972 г. была запущена станция «Венера-8», которая совершила посадку на дневной стороне Венеры в 500 км от утреннего терминатора. Станция передавала информацию с поверхности в течение 50 минут.

Была впервые измерена освещенность на поверхности: 350 ± 150 люкс (лк). Если экстраполировать эту освещенность к полудню, то это составит 1000–3000 лк, что достаточно для фотосъемки. До этого ряд исследователей полагал, что на поверхности Венеры даже днем царит полный мрак. Скорости ветра на высоте 50 км и у поверхности различались почти на 2 порядка (50–60 м/с и 0–2 м/с). Это явление впоследствии стало известно как суперротация венерианской атмосферы. Были выполнены и первые измерения содержания естественных радиоактивных элементов в грунте: калия, урана, тория.

«Венера-9» и «Венера-10», запущенные 8 и 14 июня 1975 г., получили первые монохроматические (черно-белые) изображения поверхности Венеры, а «Венера-13» и «Венера-14» (совершили посадку в марте 1982 г.) получили цветные панорамные изображения. Эти снимки до сих пор остаются уникальными, потому что больше ни одна страна в мире не смогла посадить на поверхность Венеры действующий космический аппарат.

Последние советские исследования Венеры были проведены уже на излете существования СССР, в 80-е гг. XX в.



На сборке автоматической межпланетной станции «Венера-4»

Дублирующие друг друга миссии «Вега-1» и «Вега-2», запущенные 15 и 21 декабря 1984 г., предназначались для исследования атмосферы Венеры и одновременно для кометы Галлея. Каждая станция состояла из двух частей: пролетного КА (для изучения кометы) и спускаемого КА (для изучения Венеры). Обе станции успешно выполнили свою научную программу. Впервые было проведено изучение средних слоев атмосферы Венеры на высоте 53–55 км (эта область соответствует среднему, наиболее плотному слою облаков) с помощью аэростатов, наполненных гелием. Каждый из зондов проработал около 46 часов и пролетел свыше 11 тыс. км, измеряя вдоль трассы полета температуру, давление, концентрацию сернокислотного аэрозоля, дальность видимости и вертикальные порывы ветра. Оба зонда обнаружили на ночной стороне световые вспышки, т. е. разряды молний.

На этом советские исследования Венеры завершились. В те годы важные исследования Венеры проводились и на нескольких американских «Маринерах» и орбитальном аппарате «Пионер – Венера», но мягкие посадки (10!) смогли осуществить только советские аппараты. Недаром с тех пор Венера заслуженно считается «русской планетой».

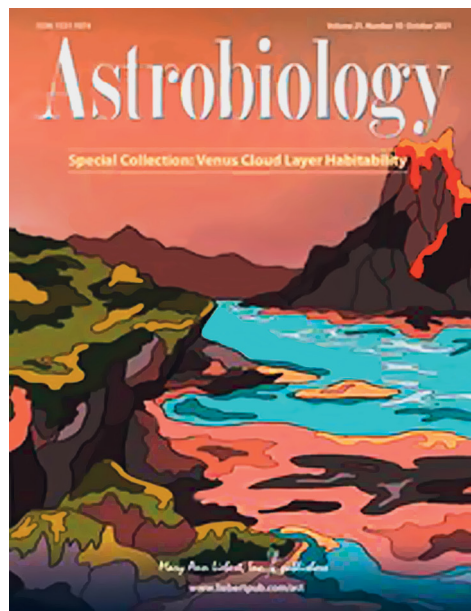
После американской радиолокационной миссии «Магеллан», в 1990–1994 гг. проводившей картографирование 98% поверхности планеты, Венера надолго оказалась в тени научных исследований. Успех европейской орбитальной миссии «Марс-экспресс» дал возможность европейским ученым использовать оставшийся технический задел для запуска к Венере двойника марсианской миссии, получившей название «Венера-экспресс» (2005–2015 гг.). На этом КА работало и несколько российских приборов. Журнал «Земля и Вселенная» в свое время посвятил несколько статей полученным ими результатам.

И все же загадка Венеры продолжала манить ученых. Почему планеты-сестры настолько различаются? Существовала ли на Венере жизнь? И могла ли она сохраниться до сих пор?

С одной стороны, какая жизнь в таком аду? А с другой, все наши представления о внеземной жизни связаны с единственным доступным нам примером – Землей. Но и на Земле ученые открывают все новые и новые необычные биоценозы, которые раньше трудно было себе представить. Многочисленные и разнообразные бактериальные сообщества обнаружены у жерл глубоководных гидротермальных источников, т. н. «черных курильщиков», в грунте глубоко под дном океана, в холодных пустынях Антарктиды, в пересоленных озерах, в континентальных шахтах на глубине 2.4 км; микробы обнаружены в стратосфере на

высоте до 50 км. Все это говорит о том, что жизнь может приспосабливаться к самым экстремальным условиям обитания.

В последние годы обсуждается возможность существования микробной жизни в облаках Венеры, где температура, давление и освещенность близки к земным. Так, аэростатные зонды миссий «Вега», которые проводили измерения на высотах 53–55 км над поверхностью Венеры, показали, что при давлении 0.54 атм температура там составляет от +27 до +43 °С. Микроорганизмы могут существовать среди сернокислотного аэрозоля в облаках, поддерживая свое существование за счет окисления S- и Fe-содержащих компонентов, и оставаться на высоте «обитания» за счет стационарных орografических волн. В 2020 г. в верхнем облачном слое Венеры был предположительно обнаружен газ фосфин, который на Земле имеет исключительно биологическое происхождение, что поддерживает гипотезу существования микроорганизмов. Кроме того, в верхнем облачном слое Венеры на высоте около 50 км наблюдается необычное поглощение излучения в ультрафиолетовом (УФ) диапазоне, природу которого до сих пор объяснить не удалось. Ни одно из веществ, наличие которых можно ожидать в облаках, такого поглощения не демонстрирует, однако известны классы бактерий, в спектре которых существует поглощение в соответствующей УФ-области спектра (например, *Thiobacillus Ferrooxidans*). Впрочем, микробная жизнь в облаках Венеры пока остается гипотезой, хотя и весьма правдоподобной. Дискуссиям по облачной микробной жизни на Венере посвящен недавний специальный выпуск журнала *Astrobiology* (Vol. 21, No. 10, October 2021). Журнал «Земля и Вселенная» посвятил этим проблемам специальную статью, подготовленную Оле-



Обложка журнала «Astrobiology»
(Vol. 21, No. 10, October 2021)

гом Коцюрбенко (Коцюрбенко О.Р. Есть ли жизнь на... Венере? *ЗиВ*, № 3, 2021). Продолжение этих острых дискуссий состоялось совсем недавно на международном семинаре «Venus habitability workshop», прошедшем в ИКИ РАН в ноябре 2021 г. Журнал «Земля и Вселенная» обязательно расскажет на своих страницах об основных итогах этого семинара.

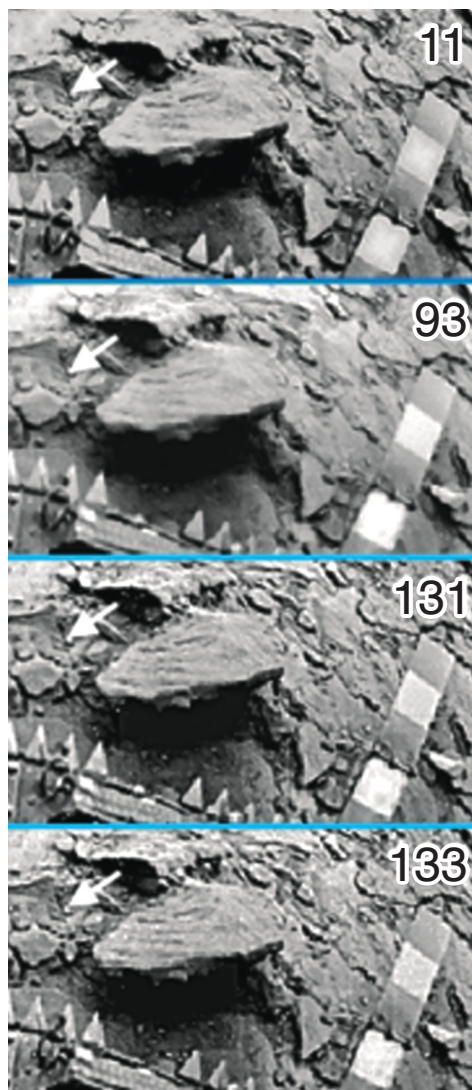
Некоторые ученые рассматривают еще более фантастические гипотезы о возможной жизни на поверхности Венеры. Изучая телевизионные панорамы, полученные «Венерами», профессор Л.В. Ксанфомалити с коллегами обнаружил очень медленное перемещение небольших объектов, которое авторы интерпретировали как гипотетические живые организмы. Статья о Л.В. Ксанфомалити опубликована в этом номере. Сама возможность такого исследования возникла благодаря высочайшему качеству изображений, полученных



*Леонид Васильевич Ксанфомалити
(1935–2019)*

уникальной (и не только для того времени) телевизионной системой, созданной замечательным специалистом Арнольдом Сергеевичем Селивановым на предприятии, которое называется теперь «Российские космические системы» (РКС). Жизни и трудам Арнольда Сергеевича посвящена статья, опубликованная в этом же номере журнала.

На первый взгляд, такая интерпретация противоречит почти всем сложившимся представлениям о возникновении жизни. Однако представлениям о возникновении только привычной нам углеродной жизни. В работе Л.В. Ксанфомалити, Л.М. Зелёного и известных химиков из Института высокотемпературного катализа СО РАН. В.Н. Снытникова и В.Н. Пармона (УФН, т. 189, No. 4, апрель 2019) обсуждается вариант иной, неуглеродной «высокотемпературной» жизни, где роль сложных органических соединений играют соединения азота. Как известно, в земных живых организмах очень важную роль играет понятие симметрии, в частности наличие «правого» и «левого», что свойственно самым низкоиерархичным структурам, начиная с соединений углерода. Азот также допускает так называемые хиральные (то есть не симметричные относительно зеркального отражения) соединения, что может послужить еще



*Кадры телевизионных панорам, полученные
«Венерами»*

одним аргументом в пользу азотной концепции. Здесь следует заметить, что хиральные соединения существуют не только для углерода и азота, но также для серы и фосфора.

В земных условиях азот пассивен, но при высоких давлениях и температурах химия азота может оказаться не менее разнообразной, чем химия углерода.



Схема посадочного модуля «Венера-Д»

Уже известен целый ряд азотных полимеров, обладающих стабильностью при температурах 500 °C и выше. Венерианская жизнь может быть азотной, а не углеродной, как на Земле. В роли универсального растворителя вместо воды может выступать закритический флюид двуокиси углерода (углекислого газа), поскольку при колоссальном давлении на поверхности Венеры углекислота ведет себя отчасти как жидкость. В частности, она может растворять другие вещества. При всей спорности подобных предположений несомненно, что Венера таит в себе еще много загадок, для решения которых необходимы новые экспедиции, способные наблюдать эти явления *in situ* на фотопанорамах с высоким пространственным и временным разрешением.

В настоящее время Российская академия наук (РАН) вместе с Государ-

ственной корпорацией (ГК) «Роскосмос» активно обсуждают планы большой комплексной программы исследования Венеры, состоящей из трех последовательных этапов. Планируется, что в 2029 г. к Венере отправится первая российская миссия «Венера-Д», включающая в себя орбитальный, посадочный и демонстрационный атмосферный модули. Атмосферный модуль будет исследовать структуру облаков и попытается ответить на вопрос о микробной жизни в сернокислотном аэрозоле. Посадочный модуль включает в себя приборы для минералогического и элементного анализа состава поверхности, состава атмосферы, измерения тепловых потоков и метеопараметров. Также посадочный модуль будет оснащен комплексом высококачественных телекамер для передачи панорамных изображений поверх-

ности и отслеживания движущихся объектов. Для решения поставленных задач достаточно 2–3 часов срока активного существования модуля на поверхности Венеры.

Ключевые особенности российской программы исследования Венеры – это последовательное наращивание сложности решаемых задач, обеспечение успеха проведения последующих миссий, а также исследование атмосферы и грунта на месте, *in situ*, включая вариации в реальном времени. В 2031 г. ожидается запуск второй экспедиции, а в 2034 г. – запуск третьей, в задачи которой входит доставка на Землю образцов атмосферы, аэрозолей, грунта Венеры для исследования их в земных лабораториях. Последняя цель выглядит не просто амбициозной, она фантастически трудна, поскольку до сих пор КА доставляли вещество только с Луны, астероидов Рюгу и Итокава, и даже с Марса доставка грунта еще только планируется на конец этого десятилетия.

В 2021 г. Венера несколько неожиданно вышла на авансцену мировых планетных исследований. NASA (США) и Европейское космическое агентство (ESO) из громадного количества предлагавшихся научных миссий отобрали сразу 3 венерианских (*VERITAS*, *DAVINCHI+* и *EnVision*).

Кроме того, к Венере в 2026 г. должна направиться и индийская орбитальная миссия «Шукраян-1», в комплексе научной аппаратуры которой будут работать и российские приборы.

Мы, конечно, расскажем подробнее об этой новой венерианской «фло-

тилии» и научных задачах каждой из этих миссий в наших ближайших выпусках.

В заключение этой статьи снова обратимся к нашему великому соотечественнику, положившему начало исследованиям Венеры. Возвращение России на Венеру (бывшую и, надеюсь, остающейся «русской планетой») отвечает неустанному стремлению М.В. Ломоносова к познанию Природы: «Того ради государи и правительства, справедливое имея об общей пользе попечение, не щадят своих иждивений на строение и сооружение астрономических и награждение людей, знающих сию науку, и на посылки в отдаленные земли для наблюдения редко бывающих явлений небесных, каково недавно приключилось Венерино на Солнце, которое посланных астрономов удовлетворяет любопытство с приращением полезного знания».

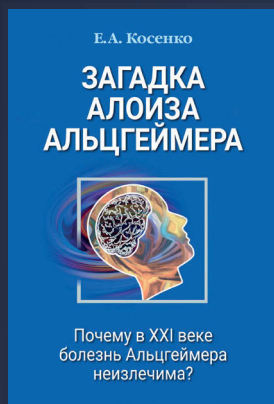
Рекомендованная литература

1. Гектин Ю.М. Человек, позволивший нам увидеть другие миры // Земля и Вселенная. 2022. № 3. С. 83.
2. Коростелёв С.Г. Парад планет Леонида Ксанфомалити. К 90-летию со дня рождения // Земля и Вселенная, 2022, № 2–3.
3. Тексты Ломоносова цитируются по источнику: <http://lomonosov.niv.ru/lomonosov/nauka/po-fizike-astronomii-i-priborostroeniyu-1744–1765/science-23.htm>
4. С лекцией Л.М. Зелёного на торжественном заседании в Архангельске, посвященном 310-летию со дня рождения М.В. Ломоносова (на основе которой подготовлена эта статья), можно ознакомиться по ссылке: <https://www.youtube.com/watch?v=8U89hWWkUkg>
5. О методе параллакса: <https://starcatalog.ru/osnovyi-astronomii/metod-parallaksa-dlya-izmereniya-rasstoyaniya-mezhdu-planetami.html>

Автор благодарен президенту Ломоносовского фонда, чл.-корр. РАН К.В. Лобанову, руководству Архангельской области и лично П.С. Журавлеву за подготовку ярких юбилейных мероприятий и искреннее северное гостеприимство.

Автор глубоко признателен с.н.с. ИКИ РАН Ладе Ананьевой за важные советы и помощь в подготовке рукописи и редактору О.С. Сажинной за важные замечания.

С новыми книгами
Издательства “Наука”
вы можете ознакомиться на сайте
naukabooks.ru



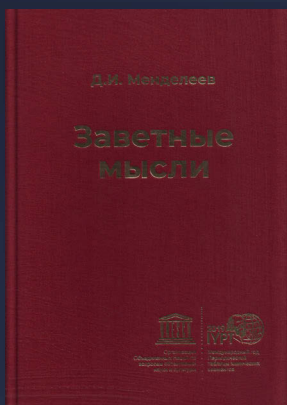
Косенко Е.А.

Загадка Алоиза Альцгеймера. Почему в XXI в. болезнь Альцгеймера неизлечима?

М.: Наука, 2019. — 319 с.

В монографии изложена актуальнейшая на сегодняшний день медико-биологическая проблема, связанная с болезнью Альцгеймера (БА), и предпринята попытка ответить на вопрос: почему заболевание, известное с начала XX в. и на изучение которого тратятся триллионы долларов, в настоящее время все еще остается неизлечимым, а имеющиеся антиамилоидные препараты приносят больше вреда, чем пользы? Для объяснения механизмов, лежащих в основе нейродегенерации при БА, формулируется «эритроцитарная гипотеза», согласно которой эритроциты рассматриваются не просто как клетки, переносящие кислород, а как клетки, от эндогенного метаболизма которых зависит адекватная доставка кислорода в ткани, и в частности в мозг. Именно функциональное несоответствие между эритроцитами и биоэнергетикой мозга, считает автор, лежит в основе гибели нейронов.

Книга может быть интересна широкому кругу читателей – студентам, обучающимся по специальностям «биология», «биомедицина», а также физиологам, биохимикам научно-исследовательских лабораторий, преподавателям высших образовательных медицинских и биологических учреждений.



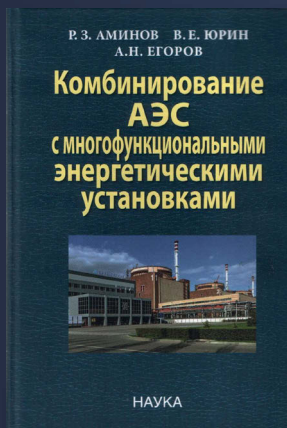
Менделеев Д.И.

Заветные мысли.

М.: Наука, 2019. — 310 с.

Д.И. Менделеев в работе «Заветные мысли» рассуждает о желательных, на его взгляд, путях развития России в геополитической, экономической и научной областях. Круг анализируемых ученым вопросов чрезвычайно широк: государственное устройство, образование, народонаселение, внешняя торговля, взаимосвязь между просвещением и национальным богатством, баланс между промышленностью и сельским хозяйством и т.д. По существу, «Заветные мысли» – духовное завещание Д.И. Менделеева потомкам.

Для широкого круга читателей.



Аминов Р.З., Юрин В.Е., Егоров А.Н.

Комбинирование АЭС с многофункциональными энергетическими установками.

М.: Наука, 2018. — 238 с.

В работе предложен новый взгляд на повышение безопасности АЭС. Разработаны и исследованы многофункциональные системы, включающие такие установки, как дополнительная паровая турбина, тепловые аккумуляторы, водородный комплекс и газотурбинные установки, позволяющие обеспечить надежное электроснабжение собственных нужд АЭС в аварийных ситуациях с обесточиванием. Исследован способ использования остаточного тепловыделения реакторов типа ВВЭР для генерации электроэнергии, необходимой для отвода остаточного тепловыделения в аварийных ситуациях с полным обесточиванием. Разработана система уравнений и построены скелетные таблицы свойств диссоциированного водяного пара, которые позволяют проводить промышленные термодинамические расчеты параметров рабочего тела водородных циклов. Исследованы процессы сжигания водорода в кислородной среде, а также определены ресурсные показатели основного оборудования водородного энергокомплекса, работающего в циклических режимах.

Для научных работников, специалистов, аспирантов, студентов старших курсов теплоэнергетических специальностей.

naukabooks.ru

ЧЕЛОВЕК, ПОЗВОЛИВШИЙ НАМ УВИДЕТЬ ДРУГИЕ МИРЫ

ГЕКТИН ЮРИЙ МИХАЙЛОВИЧ,

кандидат технических наук

АО «Российские космические системы»

DOI: 10.7868/50044394822030070

Знаковые достижения в исследовании космических объектов связаны, как правило, с получением изображений их поверхности. Таковы когнитивные свойства человеческого мозга, опирающегося в оценке окружающего мира в первую очередь на зрение. Этим обусловлено возникшее и продолжающее существовать неумное стремление исследователей в первую очередь детально рассмотреть удаленный объект. В то же время и для обывателей, включая политиков, принимающих решения о финансировании программ космических исследований, зачастую полученные изображения являются самодостаточным результатом, наглядно подтверждающим приоритет проведенных работ и оправдывающим инвестиции. Поэтому задача получения изображений поверхности исследуемых небесных тел была сформулирована правительством СССР на самом начальном этапе становления космической техники, предназначенной для освоения дальнего космоса.

Первые в историческом плане изображения поверхности Луны, Марса и Венеры, полученные со спутников и посадочных модулей автоматических



Арнольд Сергеевич
Селиванов. 1970-е гг.

межпланетных станций (АМС), обеспечившие международный приоритет страны на начальной стадии освоения космоса, неразрывно связаны с именем Арнольда Сергеевича Селиванова (1935–2019)¹. Судьбой было ему уготовано оказаться в «нужное время в нужном месте»: в самый романтический период становления космической техники работать под руководством Главного конструктора С.П. Королёва

и реализовывать вначале его идеи, а затем собственные, которые современники относили к области фантастики.

А.С. Селиванов в 1958 г. окончил Московский электротехнический институт связи (МЭИС) по специальности «Радиосвязь и радиовещание». Еще будучи студентом, активно занимался научно-исследовательской работой в институте, а на последнем курсе стал

¹ Инженер-конструктор радиотехнических средств космической техники, заведующий лабораторией Московского электротехнического института связи, начальник отдела НИИ космического приборостроения, доктор технических наук, профессор, лауреат Ленинской и Государственной премий, Заслуженный деятель науки Российской Федерации.

начальником учебной лаборатории при кафедре телевидения МЭИС (ныне МТУСИ). В 1960 г. он поступил на работу в СКБ-567, которое затем вошло в состав НИИ-885 (в настоящее время ОАО «Российские космические системы»), где и работал без перерыва всю свою жизнь, занимая должности от руководителя группы инженеров-исследователей до первого заместителя генерального директора. Длительное время ему посчастливилось

работать под непосредственным руководством одного из членов легендарной шестерки главных конструкторов – М.С. Рязанского (ЗиВ, 2000, № 3).

Арнольд Сергеевич был одним из наиболее результативных ученых в области космического приборостроения и космических информационных систем. Под его научно-техническим руководством и при непосредственном участии был выполнен ряд разработок, обеспечивших приоритетные достижения отечественной науки и техники:

- завершение съемки обратной стороны Луны;
- получение первых панорам поверхности Луны;
- проведение первой цветной съемки поверхности Марса с орбиты его искусственного спутника;
- дистанционное управление луноходами;
- получение первых черно-белых и цветных панорам поверхности Венеры;
- проведение тепловой съемки поверхности Марса с высоким пространственным разрешением.

Выполнение этих работ стало возможным благодаря созданию А.С. Селивановым в ОАО «Российские косми-



В день вручения Ленинской премии 6 июля 1966 г.

ческие системы» научной и инженерно-конструкторской школы космического телевизионного приборостроения и оптоэлектроники, получившей мировое признание. Школа во главе с Арнольдом Сергеевичем организационно оформилась в составе нескольких научно-исследовательских отделов института как самостоятельное тематическое направление и продолжает активно развиваться.

На базе разработок, выполненных для исследования Луны и планет, а также ряда новаторских идей, А.С. Селивановым были заложены основы построения информационных комплексов для исследования из космоса природных ресурсов Земли и охраны окружающей среды. С 1982 по 2000 г. – он главный конструктор информационных комплексов космических аппаратов для дистанционного зондирования Земли «Ресурс-01», «Метеор-Природа», «Океан-О», «Океан-01» и модуля «Природа» орбитальной станции «Мир». В 1982–2002 гг. Арнольд Сергеевич – технический руководитель российской части международной системы поиска и спасения терпящих бедствие судов и самолетов «КОСПАС-САРСАТ», он обеспечил ее сдачу в международную эксплуатацию. За истекшие годы система обеспечила спасение более 37 тыс. граждан разных стран, в том числе и в России. В 1997 г. его назначили главным конструктором объединенной системы дистанционного зондирования «Ресурс». Он успешно работал также в области создания радиотехнических средств для обеспечения полетов межпланетных станций и космических аппаратов научного назначения.

Под его руководством разработаны радиосистемы по программам «Астрон», «Гранат» и «Интербол», успешно завершённым в 1991 г., 1998 г. и 2000 г., соответственно (ЗиВ, 1983, № 4; 1993, № 6; 1998, № 6; 2000, № 6).

За большую и плодотворную работу по созданию космической техники А.С. Селиванову присвоены звания лауреата Ленинской (1966) и Государственной (1986) премий, он награжден орденом Трудового Красного Знамени (1976) и медалями, удостоен других наград – знака Циолковского (2003) Российского авиационно-космического агентства, знаков Королёва (2005, 2006) и Гагарина (2007) за международное сотрудничество в области космонавтики (2012) Федерального космического агентства. Он награжден также Федерацией космонавтики России орденом им. К.Э. Циолковского, и ему присвоено звание «Заслуженный создатель космической техники» (2006).

В течение ряда лет Арнольд Сергеевич вел преподавательскую работу в Московском электротехническом институте связи и Московском институте радиоэлектроники и автоматики. В 1988 г. ему присвоено звание профессора, в 1995 г. он избирается академиком Академии электротехнических наук РФ и действительным членом Нью-Йоркской академии наук.

А.С. Селиванов – автор более 400 научных трудов, в том числе 11 коллективных монографий, отражающих оригинальный научный вклад автора и его школы в мировую науку и технику, а также два учебных пособия и ряд научно-популярных публикаций, он получил 30 изобретений и патентов, большинство из которых внедрено в промышленности². Им подготовлены более



А.С. Селиванов. 1975 г.

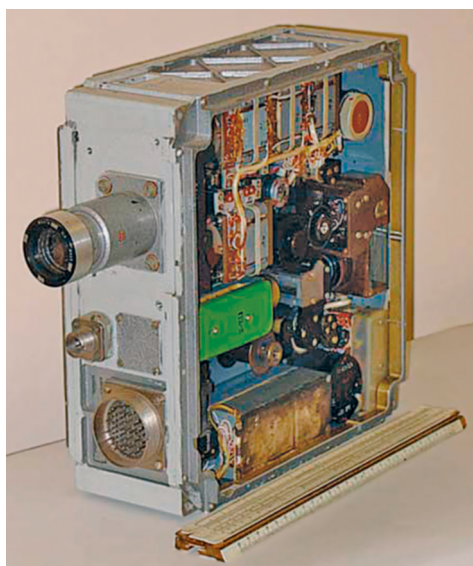
70 докладов на симпозиумах и конференциях, включая международные.

В 2000-е гг. Арнольд Сергеевич стал инициатором нового для института направления – создание малоразмерных космических аппаратов нанокласса (массой менее 10 кг), включающих в себя новейшие достижения отечественного и мирового космического приборостроения, значительно расширяющих возможности использования космического пространства.

В статье перечислены лишь те разработки, в которых ученый принимал непосредственное участие в качестве руководителя проектов.

В 1960-х гг. работы по созданию телевизионной аппаратуры для лунного (Е-6), венерианского и марсианского проектов (ЗМВ) мягкой посадки спускаемых аппаратов АМС шли почти одновременно и воплощались в жизнь очень небольшим коллективом разработчиков (конечно, при большой кооперации). Поэтому найденные оригинальные технические решения и идеи находили применение в различных

² Селиванов А.С. Очерки истории и техники космического телевидения. Воспоминания разработчика. М.: «ИД Медиа Паблишер», 2010. 192 с.



Фототелевизионное устройство
АМС «Луна-3» и «Луна-11/12». 1966 г.

устройствах. Можно выделить два основных идеологических направления конструирования. Первое направление было связано с созданием панорамных телевизионных устройств перспективных посадочных аппаратов. Эти устройства реализовывали на новом уровне архаичный принцип формирования двумерного электронного изображения путем оптико-механического сканирования наблюдаемой сцены полем зрения одноэлементного фотоприемника. Второе направление было связано с разработкой новых систем получения изображений, установленных на пролетных АМС. В таких системах реализовывался комбинированный (двухстадийный) принцип формирования изображений, берущий свое начало в фототелеграфной технике. За этими устройствами закрепилось название фототелевизионных устройств (ФТУ). Принцип их работы заключался в том, что изображение объектов сначала регистрировалось на фотопленке, которая химически обрабатывалась, затем

полученное изображение электронным способом сканировалось и передавалось по радиолинии на Землю.

Выбор в пользу фототелевизионного принципа, сложнейшего с точки зрения реализации, был обусловлен необходимостью согласования достаточно высоких скоростей (коротких длительностей) формирования кадров изображений объектов пролетными АМС и сверхмалоскоростными каналами передачи информации. Такое согласование могло быть обеспечено лишь при наличии устройств промежуточного хранения изображений на борту АМС. Отсутствие электронных компонентов для сохранения аналогового сигнала необходимой емкости предопределило использование фотографического материала в качестве универсальной среды, обеспечивающей, с одной стороны, регистрацию оптического изображения, с другой – сбор снимков до момента превращения их в электронные изображения в процессе медленного построочного сканирования.

Разработка первых образцов телевизионных устройств осуществлялась параллельно в двух конкурирующих КБ – НИИ-380 (ныне НИИ телевидения) и СКБ-567 (НИИ космического приборостроения, ныне АО «Российские космические системы»), куда из МЭИС в 1960 г. в возрасте 26 лет Арнольд Сергеевич перешел работать в качестве руководителя научно-исследовательской группы проекта создания телевизионной системы для съемки поверхности Марса. Хотя именно это оборудование не было поставлено на АМС, опытно-конструкторские разработки последующих моделей были продолжены в НИИ-885, которым в это время руководил доктор технических наук Л.И. Гусев (1922–2015) (вскоре НИИ-885 «поглотил» СКБ-567).

Основные затруднения, успешно преодоленные творческим конструктором



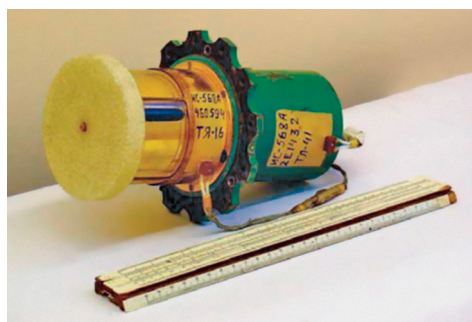
Фрагмент первой панорамы поверхности Луны, полученной спускаемым аппаратом станции «Луна-9» 3 февраля 1966 г.

торским коллективом, в котором работал, а затем руководил Арнольд Сергеевич, были связаны с реализацией процесса фотохимической обработки (проявления экспонированной пленки и ее закрепления) на борту АМС. Реализация процесса сухого проявления была крайне сложна, и практически каждый разработанный узел не имел аналогов. С.П. Королёв в шутку называл это фототелевизионное устройство «банно-прачечным комбинатом».

В 1965 г. с помощью такого ФТУ, установленного на АМС «Зонд-3», была получена возможность создания полных атласа и глобуса Луны (ЗиВ, 1999, № 6; 2019, № 6). Аналогичные модели ФТУ использовались на ИСЛ «Луна-11» в 1966 г. (ЗиВ, 1966, № 5) и «Луна-12» в 1967 г. для получения изображения части экваториальной области видимой стороны Луны с разрешением 100 м. После ряда неудач 3 февраля 1966 г. была осуществлена мягкая посадка на поверхность Луны спускаемого аппарата АМС «Луна-9» и передана на Землю панорама окружающей поверхности (ЗиВ, 1966, № 1; 1971, № 3). Успешная мягкая посадка на Луну была повторена 24 декабря 1966 г. «Луной-13» (ЗиВ, 1968, № 2). При этой съемке была применена новая разработка панорамной камеры с двухкоординатной оптико-механической раз-

верткой, в качестве фотоприемника был применен фотоумножитель.

Реализация принципа оптико-механической развертки обеспечивалась в строчном направлении качающимся перед одноэлементным фотоприемником зеркалом, а медленный поворот всей системы вокруг оси обеспечивал кадровую панорамную развертку. Оригинальным решением стало использование единственного двигателя для обеспечения развертки в обоих направлениях. Помимо этого работа камеры осуществлялось вне герметичного отсека, практически в вакууме, что оказалось конструктивным новшеством для бортовой радиоэлектронной аппаратуры, обеспечившим дополнительные массогабаритные преимущества выбранным решениям. Любопытно



Фототелевизионное устройство АМС «Луна-9» и «Луна-13»



Фототелевизионное устройство АМС «Марс-1» и «Марс-2/3»

знать, что эта работа осуществлялась коллективом, руководимым А.С. Селивановым в инициативном порядке (естественно, при поддержке главного конструктора М.С. Рязанского, разглядевшего перспективность выбранного направления), поскольку заказ на разработку панорамных камер был отдан другой организации. По разным причинам первые шесть запусков с заказным телевизионным оборудованием оказались неудачными, и при подготовке седьмого С.П. Королёв принял решение по установке на аппарат камеры, созданной коллективом А.С. Селиванова. Но и последующие запуски оказались неудачными. Тем не менее штурм Луны, а именно так нужно характеризовать тот период по количеству и интенсивности запусков, увенчался мягкой посадкой «Луны-9», передавшей первую панораму лунной поверхности. Получение первых лунных панорам имело большой резонанс во всем мире, и, безусловно, в этом большая заслуга лично А.С. Селиванова.

Исследования в дальнем космосе начались запуском 12 февраля 1961 г. АМС «Венера-1» и 1 ноября 1962 г. «Марс-1». Установленные на них радиокомплексы обеспечивали передачу командно-измерительной информации и передачу телеметрической и научной информации на аппаратуру наземного комплекса «Плутон», размещенного вблизи города Евпатория. На АМС «Марс-1» уже было установлено фототелевизионное устройство, разработанное под руководством А.С. Селиванова.

С запущенных в 1971 г. АМС «Марс-2» и «Марс-3» была получена информация об атмосфере Марса и его поверхности (ЗиВ, 1971, № 4; 1972, № 3). В 1974 г. с помощью АМС «Марс-4» – «Марс-7» были исследованы атмосфера и поверхность Марса (ЗиВ, 1974, № 5). На борту этих АМС было установлено два типа съемочной аппаратуры. Основной прибор был построен по уже отработанной технологии, с получением промежуточного изображения на фотопленке, второй прибор, значительно легче и компактней первого, непосредственно получал изображение с использованием оптико-механического сканирования. Фотографирование поверхности Марса в первых попытках было невысокого качества, что обусловлено низкой контрастной чувствительностью фотоматериала и неверным фотометрическим прогнозом (съемка проводилась в сезон глобальной пыльной бури на поверхности Марса). Для улучшения ситуации необходимо было выполнить дополнительные усовершенствования и натурные испытания аппаратуры. И необходимый полигон, имитирующий поверхность Марса с красными песками и карстовым воронками был найден на окраине пустыни Кызылкум. На каждом аппарате располагалось два ФТУ с короткофокусным и длиннофокусным объективом и ре-

вольверным механизмом с цветными светофильтрами. Темп съемки был выбран таким, чтобы обеспечивалось перекрытие кадров, что позволило синтезировать цветные снимки поверхности Марса, впервые полученные с близкого расстояния. Все это дало свои положительные результаты, и орбитальная съемка поверхности Марса была успешно выполнена.

Посадка марсианской станции «Марс-3» состоялась 2 декабря 1971 г. Первый в истории аппарат просуществовал на поверхности Марса несколько минут и успел передать 78 строк панорамы, которые, как выяснилось позже, из-за наложившихся радишумов, в то время не могли быть однозначно дешифрованы. В связи с этим официального упоминания об успешности телевизионной части миссии не было. К сожалению, лишь относительно недавно (в 2012 г.) была проведена противошумовая цифровая обработка записанных аналоговых сигналов, чудом сохранившихся в архиве. На отреставрированном изображении просматриваются детали рельефа, тем самым подтверждая, пусть и запоздало, приоритет получения первых в истории панорамных изображений с поверхности Марса.

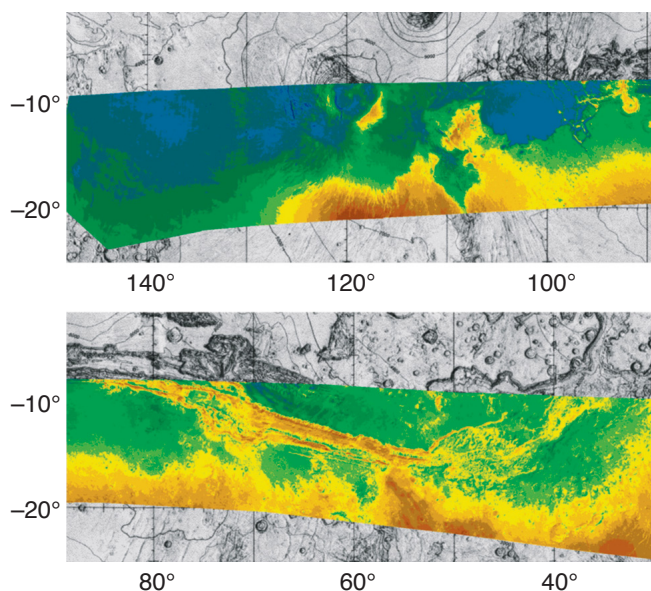
Прямым продолжением работ, связанных с изучением поверхности Марса с орбитальных АМС телевизионными средствами, можно назвать успешный эксперимент по тепловой съемке аппаратурой «Термоскан». Это уникальный для своего времени прибор был создан за рекордно короткое время (менее года) и включал в себя все передовые отечественные технологии в области тепловой съемки. Из-за весовых ограничений корпус прибора был изготовлен из бериллия. Оптическая схема состояла из асферических облегченных зеркал, а изображение формировалось с помощью оптико-механического сканирования. В феврале–марте 1989 г.



Прибор «Термоскан», установленный на АМС «Фобос-2». 1988 г.

с борта АМС «Фобос-2» впервые в мире была осуществлена тепловая съемка экваториальной области Марса с высоким пространственным разрешением (ЗиВ, 1989, № 5). В результате были получены приоритетные результаты по температурам поверхности Марса и построены карты тепловой инерции грунта. Полученные результаты температурных измерений поверхности послужили основой для калибровки аппаратуры последующих миссий американских аппаратов.

18 октября 1967 г. впервые в мире в атмосферу Венеры был доставлен спускаемый аппарат АМС «Венера-4», который в течение 93 минут работы до высоты 28 км передал информацию о ее параметрах (ЗиВ, 1969, № 1; 1970, № 6). Использование на борту венерианских станций режима ретрансляции научной информации со спускаемого аппарата через бортовой радиокомплекс пролетного аппарата позволило увеличить скорость передачи на Землю научной информации до 3 кбит/с при приеме изображений. Это послужило основой для проведения следующих миссий. 22 и 25 октября 1975 г.



Карты тепловой инерции поверхности Марса, полученные АМС «Фобос-2» в марте 1989 г.

с АМС «Венера-9» и «Венера-10» были переданы на Землю не только данные о фактических параметрах планеты, но и первые в истории монохромные панорамные изображения поверхности Венеры вблизи места посадки спускаемого аппарата (ЗиВ, 1976, № 3).

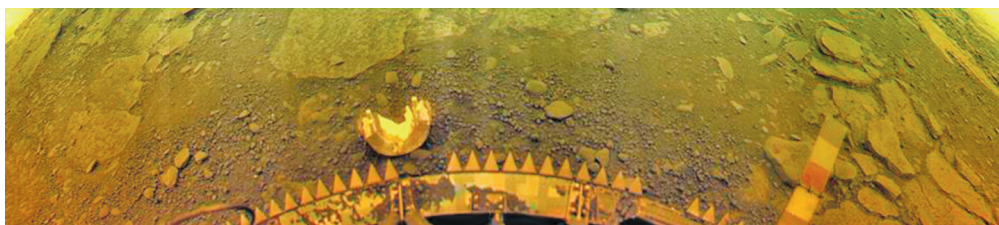
Следующий шаг был осуществлен 5 марта 1982 г. на АМС «Венера-13» и «Венера-14» за счет использования режима ретрансляции через аппарат, находящийся на орбите спутника Венеры, была достигнута скорость передаваемой научной информации 64 кбит/с, что позволило получить первые цветные панорамы поверхности Венеры (ЗиВ, 1983, № 1, 4; 1986, № 4)³. Создание этих камер можно с уверенностью назвать шедевром конструкторской мысли. В сравнительно небольших габаритах и весе менее 6 кг она включает в себя двухкоординатную систе-

му сканирования, работающую при температуре +500 °С; систему охлаждения, позволяющую работать электронным блокам в течение почти двух часов при таких критических температурах, а оптическая часть содержит еще и систему внутренней калибровки, позволяющей правильно осуществить синтез цветного изображения. Получение черно-белых и цветных панорам с поверхности Венеры до сих пор является непревзойденным мировым достижением советской космической техники и навсегда вписало в историю имя талантливого конструктора А.С. Селиванова.

Панорамные камеры, использующие оптико-механическое сканирование, с небольшими модификациями, фактически были запущены в серийное производство. Они устанавливались, как уже было отмечено, на посадочных аппаратах АМС «Луна-9» и «Луна-11» (1966), а также на посадочных аппаратах АМС «Марс-2» и «Марс-3» (1971), «Марс 4» и «Марс-5» (1973) они работали в орбитальном режиме; ими оснащались АМС «Марс-6» и «Марс-7»; «Луноход-1» (1970 г.) и «Луноход-2» (1973 г.); орбитальный аппарат АМС «Венера-9» (1975); «Луна-19» (1971 г.) и «Луна-22» (1974 г.) для контроля взятия пробы грунта. Этот огромный объем выполненных работ, безусловно, ставит имя А.С. Селиванова на самую высокую ступень в создании космического телевидения.

С самого начала разработки телевизионного обеспечения систем для управления луноходом шли по двум направлениям. Первое направление было

³ Селиванов А.С., Нараева М.К. Телевидение на Венере // Земля и Вселенная, 1982, № 4.

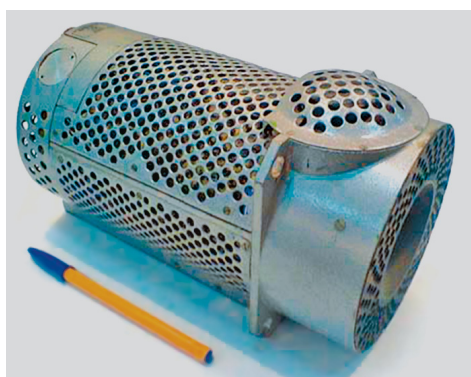


Первая цветная панорама поверхности Венеры, полученная 1 марта 1982 г. спускаемым аппаратом АМС «Венера-13»

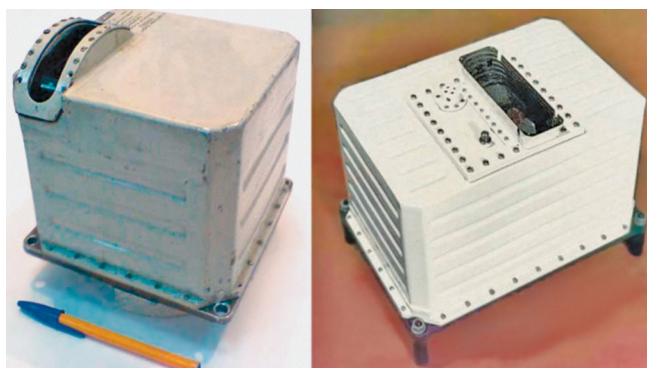
связано с топографической стереосъемкой поверхности вокруг аппарата, что обеспечивали две панорамные камеры, установленные по бокам лунохода. Контроль за горизонтом и положением лунохода относительно вертикали осуществляли две камеры вертикального панорамирования, установленные спереди и сзади. Но главной задачей для этих камер являлось обеспечение безопасного съезда аппарата с платформы. Для управления движением лунохода операторами была применена система малокадрового телевидения с управляемой частотой кадров, выбираемой из ряда 3.2; 5.7; 10.9 и 21.1 с/кадр. Такие длительности кадров были обусловлены малой скоростью радиоканала, их было сложно реализовать на телевизионных трубках, предназначенных для вещательного телевидения. По счастливой случайности во Всесоюзном НИИ электроручевых приборов был разработан экспериментальный образец оригинальной телевизионной трубки – видикон с регулируемой памятью. Его мишень экспонировалась подобно фотографической пленке с помощью открывания механического затвора, а зарядовый рельеф сохранялся до момента считывания его электронным лучом, сканирующим мишень в стандартном вещательном режиме. По сути, это был еще один вариант оптико-механической телевизионной системы. «Луноход-1» работал на лунной поверхности 107 земных суток,



Фототелевизионное устройство АМС «Венера-9/10» и «Венера-13/14»



Фототелевизионное устройство самоходного аппарата «Луноход-2»



Фототелевизионное устройство ИСЗ «Метеор-Природа»

*Первый наноспутник в России, разработанный
в ОАО «Российские космические системы» под руководством
А.С. Селиванова*



прошел 10,5 км и дал громадный объем информации. Луноход «заснул» 14 сентября 1971 г. «Луноход-2» активно работал 97 суток с 16 января по 4 июня 1973 г. (ЗиВ, 1971, № 3, 6; 1972, № 2; 1973, № 2, 3; 2020, № 5).

Результаты разработки аппаратуры для исследования космических объектов легли в основу разработки аппаратуры наблюдения поверхности Земли – дистанционного зондирования Земли из космоса (ДЗЗ). Принципиальным отличием этих систем относительно описанных выше являются сравнительно небольшие расстояния между бортовой и приемной наземной аппаратурой, и, как следствие, появляется возможность передачи значительных объемов информации. К построению этих систем коллектив разработчиков под руководством А.С. Селиванова подошел в 1972 г., опираясь на опыт построения оптико-механических систем пролетных аппаратов АМС, обеспечивающих большое количество элементов разложения при низком уровне неравномерности вследствие использования единственного фотоприемника. Первые приборы имели разре-

шение на поверхности Земли такое же, как на эксплуатирующихся метеоспутниках – около 1 км, с полосой захвата 1800 км на поверхности, они осуществляли зондирование в четырех спектральных диапазонах. Этот подход обеспечивал совместимость новых результатов с уже накопленными картами метеонаблюдений. Первый советский ИСЗ для ДЗЗ, получивший название «Метеор-Природа», был запущен в 1974 г. (ЗиВ, 2021, № 5). Однако для постановки работ в этом направлении потребовалась организация широкой кооперации между многочисленными предприятиями внутри отрасли и потенциальными потребителями совершенно новой в то время информации. В конечном счете кооперация была создана и начала формироваться структура новой отрасли космической промышленности (на основании соответствующих постановлений правительства), предполагавшей финансирование регулярного запуска спутников и создание широкой сети наземных станций приема получаемой информации. У разработчиков телевизионного оборудования появилась возможность

создавать и совершенствовать много-спектральные системы наблюдения высокого и сверхвысокого разрешения. Вслед за спутниками «Метеор-Природа» в 1980 г. началась эксплуатация системы «Ресурс» в качестве государственной информационно-космической системы, а роль головной организации выполнял НИИ-885, главным конструктором всей системы был назначен А.С. Селиванов. Космический сегмент состоял из трех подсистем: «Ресурс-О» (4 КА, запускались в 1985–1998 гг.), предназначенный для наблюдения суши, «Океан-О» (10 КА, запускались в 1983–1999 гг.), предназначенный для наблюдения поверхности океана, и фотографической неоперативной системы «Ресурс-Ф» (8 КА, запускались в 1979–1999 гг.). На КА «Ресурс-О» устанавливались многоспектральные сканеры среднего и высокого разрешения, а также мезозональные сканирующие устройства с конической разверткой МСУ-СК. В последующих модификациях многоспектральных сканеров впервые в мире нашли применение отечественные фотоприемники на линейных приборах с зарядовой связью.

Не перестаешь удивляться благодаря каким потрясающим усилиям интеллекта разработчиков, организационному таланту и интуиции главных конструкторов за столь короткий промежуток времени (15 лет), фактически с нуля, при отсутствии адекватной решаемым задачам микроэлектронной базы удалось создать новое научно-техническое направление в космических исследованиях, получившее в дальнейшем обобщенное название дистанционное зондирование Земли и планет. Показательно, что даже в самые тяжелые для космической отрасли годы А.С. Селиванов оставался сконцентрированным на достижение пионерского результата. Он сумел в инициативном порядке с очень небольшим коллективом единомышленников разработать и ре-



А.С. Селиванов с наноспутником ТНС-0 в руках. 2000-е гг.

ализовать первый отечественный наноспутник ТНС-0 массой 5 кг, диаметром 170 мм и высотой 315 мм, запущенный 28 марта 2005 г. космонавтом С.Ш. Шариповым с Международной космической станции во время выхода в открытый космос. На наноспутнике было испытано 10 новых технологий и приборов, в перспективе он предназначался для создания орбитальной сети из сотен малых аппаратов, оснащенных малогабаритными дешевыми телевизионными устройствами для мониторинга земной поверхности.

Выполнение описанных работ стало возможным благодаря созданию А.С. Селивановым получившей мировое признание научной и инженерно-конструкторской школы космического телевизионного приборостроения и оптоэлектроники. Эта школа в составе нескольких научно-исследовательских отделов в настоящее время активно развивается как самостоятельное тематическое направление работы АО «Российские космические системы».

«СЕЗАМ». РАССКАЗ О ПИЛОТЕ ПИРКСЕ

САЖИНА Ольга Сергеевна,

доктор физико-математических наук

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова

DOI: 10.7868/50044394822030082

– Спасибо за согласие, – сказал Олаф.

Монументальное лицо координатора проектирования и строительства дальних обитаемых баз Солнечной системы олицетворяло покой и основательность, но его грузное тело передвигалось в автоматическом кресле как-то неприятно юрко, напоминая Пирксу прыгающего на добычу удава.

– Речь, как я понял, пойдет об экспертной оценке космодрома. Я еще ни на что не согласился, – сухо заметил Пиркс.

– Я всего лишь благодарил за согласие прийти, командор. Ничего, если я буду вас так называть? – Олаф добродушно улыбнулся.

– Предпочел бы просто «Пиркс», – Пиркс нахмурился и поправил неумело завязанный штатский галстук.

Олаф улыбнулся шире. Склонив голову набок, он не без любопытства разглядывал собеседника. Недавно Олаф, отчасти благодаря и Пирксу, потерял кресло в министерстве из-за просчетов в строительстве научной станции на Тритоне. Автоматика не учла распределение вязкого льда, и бурная тектоническая активность спутника Нептуна съела ощутимую часть годового бюджета.

– Перейдем к делу. Что вы знаете о «Сезаме», Пиркс?

– Мало. Лаборатория на транснептуновой орбите в поясе Койпера.

– В скором времени станцию «Сезам» планируется использовать как

базу для будущих межзвездных экспедиций.

– Для этого нужен соответствующий космодром.

– Разумеется, Пиркс.

– Хотите повторение Тритона?

Бывший министр дернул рычажок кресла и резко выехал из-за стола.

– Тритон тут ни при чем. «Сезам» – искусственная станция, недавно оборудованная специальными шахтами для приема кораблей необходимого тоннажа. Требуется провести экспертную оценку, вот и все.

– Необходимый тоннаж для межзвездных экспедиций – это не меньше ста тысяч тонн, я полагаю. Я поднимал такой тоннаж из искусственной шахты на Тритоне, когда шахта начала уходить в лед под действием дрейфующего вулкана. Лично мне не хотелось бы делать что-то подобное еще раз.

– Значит, вы будете отличным экспертом, – Олаф продолжал улыбаться, но его глаза стали холодными.

– Все равно это бессмысленная затея.

– Отчего же?

– Я всегда считал, что к звездам разумнее разгоняться полем Юпитера. Впрочем, такие экспедиции пока только теории, пусть даже и хорошо обоснованные. Я практик.

– А если положение Юпитера неблагоприятно?

– Это фраза астролога.

– Ну а все-таки? – вежливо повторил координатор.

– Любая из планет-гигантов теоретически подойдет для разгона, – пожал плечами Пиркс.

– Ну, с транснептуновой орбиты корабль можно запустить назад, к Юпитеру, и он подойдет к нему даже с большей скоростью, чем будучи запущенным с Луны или Марса.

Пиркс раздраженно поерзал на жестком стуле.

– Повторяю, это бессмысленно и крайне неэкономно. Когда я был курсантом, про авторов подобных затей у нас говорилось: «надо силу в одну дину приложить к сему крети-ну», – так сказал бы нам Ньютон, если б встал из гроба он».

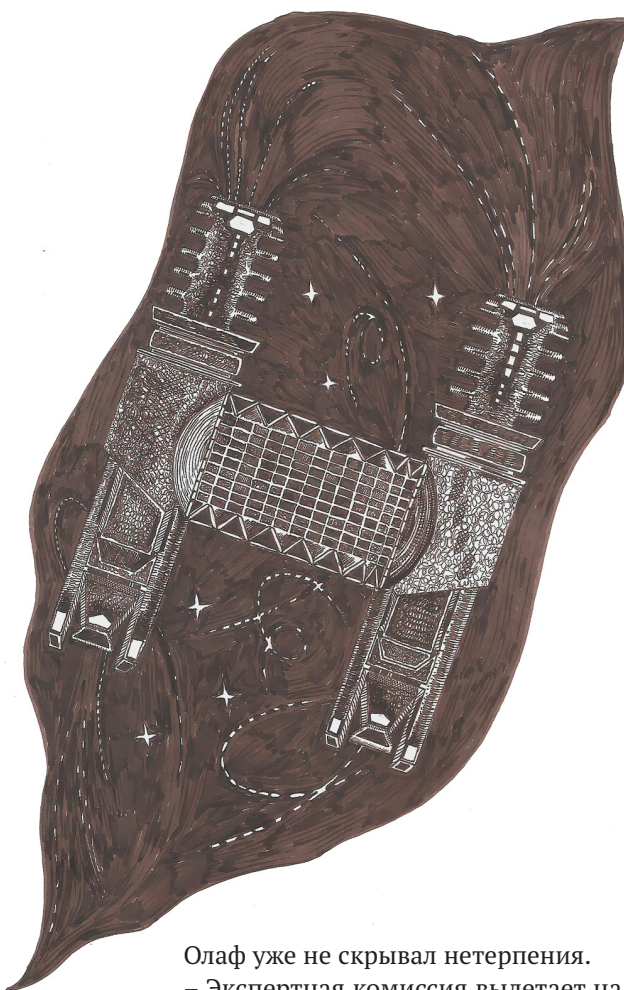
– Это, разумеется, просто как вариант, – легко согласился Олаф. – А что вы знаете о гравитационных полях в поясе Койпера?

– Ничего. Я не работал там. Могу только предположить, что несколько сотен небесных тел диаметром в тысячу километров никаких интересных гравитационных аномалий для разгона стотысячника не дадут. Вы ведь об этом?

– Вот тут вы ошибаетесь, – кресло координатора молниеносно качнулось вперед, так что Пиркс невольно вздрогнул, и пухлая рука сунула ему под нос объемистый том известного астрофизического журнала. – Пояс Койпера как раз весьма эффективен для разгона межзвездных кораблей.

Пиркс с сомнением полистал избыточные статистическими таблицами листы.

– Мне нужно время, чтобы в этом разобраться, – упрямо сказал он.



Олаф уже не скрывал нетерпения.

– Экспертная комиссия вылетает на «Сезам» через неделю. Послушайте, Пиркс, разве не в ваших интересах дать дорогу межзвездным экспедициям? От вас потребуются всего лишь технические оценки новых космодромов «Сезама»...

– Вот как, – не без удивления снова перебил Пиркс. – Так он там даже не один?

– ...а гравитационные аномалии Койпера предоставьте другим специалистам. Вы же пилот, а не физик.

– У меня есть время подумать?

– Комиссия укомплектована, осталось всего одно место. Я хотел бы, чтобы оно стало вашим.

– Почему я?

– Ваша экспертиза очень весома, в чем я уже имел случай убедиться. И вы – опытный пилот.

– Таких много.

– Безусловно. Но вы еще и тот, кто в силу возраста получит отставку в самое ближайшее время, а потому вы свободны, не так ли? – Олаф крутанул взвизгнувшим креслом и, не дожидаясь ответа, добавил. – Вы, Пиркс, видимо, хотите идти учить курсантов и до конца дней своих вдалбливать им основы теории астрометрии и навигации? Вам пока не предлагали место преподавателя? А в моих силах будет что-то сделать лично для вас.

Пиркс молчал. Раньше, всего каких-то полгода назад, он бы просто развернулся и ушел. Он был почти готов сделать так и сейчас, но почему-то оставался на месте. Речь шла все-таки о будущем межзвездных экспедициях, пусть уже и не для него самого, а он, Пиркс, удовольствовался бы простыми солнечными транспортниками. Преподавать? Нет, это не для него.

– Вы не верите в возможность межзвездных полетов? – Олаф снова улыбался.

– Я практик, – поморщившись, наконец разлепил губы Пиркс и тяжело ответил. – Хорошо. Я согласен.

...Ожидая увидеть на окраине Солнечной системы всего лишь скромную лабораторию, где исследователи экономят каждый квадратный сантиметр отвоеванной у космоса площади и каждый грамм доставленного груза, Пиркс был поражен размерами «Сезама». Станция напоминала неспешно вращающуюся гигантскую букву «Н», многоуровневая и словно бы слоистая перекладина которой представляла собой жилые и лабораторные отсеки, а параллельные цилиндрические «ножки» служили шахтами двух космодро-мов, в чьем превосходном оснащении Пиркс не замедлил убедиться в первые

же дни после посадки. Искусственные сутки на «Сезаме» совпадали по продолжительности с земными – лишний, на взгляд Пиркса, каприз немногочисленного персонала. Впрочем, на станции было много лишнего.

Какой наукой здесь занимались, кроме обычного технического обслуживания, оставалось для Пиркса загадкой – лаборатории служили скорее складами. К его удивлению, большая часть «Сезама» состояла из пустующих гостиниц и строящихся развлекательных центров. На третий день пребывания, получив на завтрак очередную порцию свежих яиц и чашку настоящего кофе, крайне озадаченный Пиркс взялся за архивы станции. Остальные члены комиссии – в большинстве своем молодые инженеры-механики – были самозабвенно погружены в мир многокилометровых шахт-космодро-мов, и все остальное их мало заботило. Отсутствие любопытства, все более узкие специализации, слепая вера в автоматику – вот черты современных покорителей космоса. Эрудиты старой за-калки становились историей.

Наблюдения пояса Койпера велись давно: огромное количество древних астероидов и заглядывавших сюда долгопериодических комет из облака Оорта и еще более далекого облака Шкловского могли многое рассказать о происхождении Солнечной системы. Со временем в поясе наравне с автоматическими зондами стали работать и обычные патрульные корабли – надежная практика пополнения данных астрофизических лабораторий непосредственными экспериментами.

Своим созданием «Сезам» был обьязан гибели патрульного пилота Брауна. С Брауном прервалась связь, и его потерпевший аварию корабль случайно нашелся только почти полвека спустя. Спасательную бригаду, вскрывшую мертвый корабль, ожидало много

сюрпризов. Все внутренние поверхности, начиная от помещения реактора и заканчивая обзорной рубкой, были убористо разрисованы формулами и чертежами. На баке угасшего реактора обнаружилась поразительно детально выписанная картина, напоминающая «Сад земных наслаждений» Босха, но только с другого, странного, ракурса, как будто автор этого нового триптиха сидел где-то там, внутри настоящей картины... Даже популярная в свое время хижина с изображенными по стенам голыми таитянками не вызвала общественный резонанс такой силы, как тут же окрещенное «божественным откровением» наследие несчастного Брауна, иссохшее тело которого было найдено тут же, возле реактора.

Теория резонансов Солнечной системы была отлично известна Пирксу, но только теперь он узнал, что ее строгое математическое обоснование нашли на стенах маленького мертвого корабля. Более того, эта теория оказалась небольшой частью изобретенной Брауном «космологической топологии», такой же изящной в сравнении с имеющейся тяжеловесной небесной механикой, как теория Кеплера в сравнении с эпициклами Птолемея. В свете этой теории Солнечная система неожиданно предстала набором совершенно предсказуемых траекторий, а весь космос приобрел совершенно предсказуемое будущее. Такая удивительная детерминированность нашла большое количество сторонников среди пилотов, чьим практическим знаниям теория Брауна не противоречила. Однако она сильно пришлась не по вкусу поклонникам господина Случая и прочим ловцам шредингеровских котлов, не замедлившим выступить с критикой «откровений». Кроме того, Вселенная в топологии Брауна представляла далеко не трехмерно-плоской, как это принято было считать – в ней

изобиловали кротовые норы и прочие тайные тропы, способные сделать достижимыми даже дальнее уголки космоса. Заварились жаркие научные споры не на один год.

Однако тот факт, что никогда не бравший кисти в руки Браун, одиноко умирающий в невообразимой дали от родного Солнца, смог превзойти Босха, потряс обывателей гораздо больше, чем какие-то там топологии. Когда-то было модно мнение о невозможности существования человека за пределами Земли, о немедленной смерти от «таинственного излучения». Идея той давно опровергнутой и забытой тайны, облаченной теперь уже в радужные тона, неожиданно возникла снова. Так, попытки объяснить истоки «гениальности» Брауна привели к смелому предположению о существовании некой границы Солнечной системы, где живой мозг подвергается изменениям, но не разрушительным, а напротив, многократно увеличивая свои возможности.

Там, где обнаружили корабль Брауна, и был водружен «Сезам». Пиркс, читавший архивы как не слишком правдоподобный и потому очень увлекательный детективный роман, не без любопытства заглянул сразу в конец и убедился, что пока ни к каким определенным результатам исследователи не пришли. Отложив папки, он задумался. Так что же, теперь, за неимением результатов «Сезам» решили приспособить под межзвездные полеты? А к чему тогда в этой глуши безумно дорогие гостиницы с фонтанами?

Пиркс спустился в пустой буфет и устроился послушать новости с Земли. Дикторша монотонно рассказывала об очередной катастрофе пассажирского лайнера «Луна-Марс», молодой командир которого не справился с ручным управлением, понадеявшись на автоматику, о «землетрясении»

на Тритоне... Собственно, на вопрос Олафа о пригодности космодромов Пиркс уже готов был дать вполне определенный ответ, но в глубине души этот ответ почему-то ему не нравился. Олаф как будто был заранее уверен в положительном решении. Как будто ему, Пирксу, отвели роль «свадебного генерала».

– ...согласно постановлению, возрастной предел для пилотов увеличен с 45 до 55 лет. Союз астронавтов благодарит...

Пиркс не заметил, как за соседний столик сели двое. Поглощенный новостью, он не разобрал бы ни слова их разговора, не перейди говорившие почти на крик.

– Ты за всю жизнь столько не зарабатываешь, сколько за один туристический сезон! У тебя купят все, что ни намалюешь, хоть плюй на холст. Главное – бирка, «сделано на «Сезаме».

– Я – художник! Я верю, что смогу повторить и превзойти Брауна. Сначала я хочу понять его, вжиться в его переживания, потом ощутить космос вокруг себя – ведь не просто же так в пилоте проснулась творческая гениальность. Здесь должно быть сосредоточение неких сил и...

– Ты – дурак и мистик! Для создания шедевров у полоумного Брауна – если это все даже и не подделка – были десятки лет. Ни ты, ни туристы столько ждать не будут. Здесь просто с комфортом делают деньги, вот и все. Жаль только, что для этого надо переться в такую даль. Хорошо хоть не дальше, к каким-то далеким звездам! Вот уж реально там человеку делать нечего.

Ни о каких межзвездных полетах речи не шло с самого начала. Доставивший Пиркса на «Сезам» рейсовый грузовой кораблик никак не смог бы вместить партии туристов, жаждущих стать гениями или выгодно приобрести гениальный шедевр. А Олафу

нужны были дорогие туристы, нужны были космодромы для них.

Пиркс внезапно понял, что ему делать. Не допив сок, он вернулся в номер и азартно углубился в данные ему Олафом таблицы, доказывающие существование разгонных полей в поясе Койпера.

В расчеты, которыми так патетически размахивал Олаф перед Пирксом и, видимо, и перед нужными чиновниками, просто вкралась несложная ошибка, случайная или преднамеренная. Пиркса совершенно не удивило, что для получения «Сезамом» статуса первой межзвездной станции, – а значит, и права на строительство космодромов – оказалось достаточно сотни каких-то таблиц. Дело вовсе не в таблицах. Перед некоторыми чиновниками хоть испорченной перфокартой трясись, хоть научной статьей – для нужного человека всегда принимается нужное решение. Зато злосчастная статья пригодилась Пирксу, и теперь ни о каких межзвездных полетах с «Сезама» не могло быть и речи, ведь теория резонансов Брауна никак не могла обосновать нужный разгон, что делало бессмысленным и само наличие станции.

Теория Брауна виделась Пирксу несоизмеримо глубже. Она говорила о возможной структуре всего пространства и времени, но никак не служила сиюминутным целям. Хорошо, пусть даже такой разгон был бы возможен, но что дальше? Как двигаться дальше, чтобы стремительный старт не оказался прыжком в никуда? А потуги подобных Олафу были сродни тому, как если бы к Циолковскому пришли мужики с гвоздями и досками с просьбой смастерить крыло для перелета через овражек. Теперь туристам вместо мистического просветления придется жаждать чего-нибудь другого. Какая жалость, они ведь могли бы не только покрыть расходы на свежие яйца

и цветные фонтаны, но и вернуть потерянные Олафом средства за стертую с лица Тритона базу. Будущим комиссиям теперь предстояло долго разбираться, как это бесперспективная для межзвездных полетов станция обзавелась столь мощной инфраструктурой.

Эксперты оказались на стороне Пиркса. Как будто сам Браун своей теорией выступил в свою защиту: против того, чтобы его смерть, его мысли послужили предметом купли-продажи и туристического бизнеса. И в этом Пиркс чувствовал несомненную солидарность с Брауном, хотя вся история получилась не без привкуса театральности: мужественные покорители космоса, разъединенные десятилетиями, выступили вместе против чиновника-торгаша. Печально, если только память о мертвых сможет хоть как-то сдерживать сиюминутную человеческую жадность.

О причинах «гениальности» Брауна можно было много рассуждать. Но не было данных, опровергающих влияние дальнего космоса на человека, и не было их для его доказательства, за исключением единственного случая. Не имея лучших критериев, Солнечную систему всегда «заканчивали» на границе влияния других звезд, но возможно эффект Брауна задал эту границу гораздо ближе, и сама эта граница может обладать глубоким смыслом. Возможно, произошло знакомство с очередным виртуозным ходом Природы-конструктора, предусмотревшей такое изменение жизни, чтобы разумные существа могли свободно путешествовать от одной звезды до другой по причудливым траекториям, диктуемым новой космологической топологией. Разве не противоречит антропному принципу то предположение, что создав человека и снабдив Вселенную законом постоянства скорости света, Природа могла ли-

шить человека возможности дальних космических путешествий? Впрочем, сам антропный принцип балансирует на грани точной науки и недоказуемой философии. В чем Пиркс не сомневался, так это в том, что шаг за шагом научные исследования все расставят на места, как теория резонансов строго расставила на места все тела Солнечной системы. Просто надо работать и быть терпеливым.

...Когда «Сезам» стал не больше книжной буквы, Пиркс, вопреки сложившимся годами привычкам, поднялся в обзорную рубку и нашел в россыпи звезд тусклую точку Солнца, которая теперь будет становиться все ярче. «Согласно постановлению, возрастной предел для пилотов увеличен с 45 до 55 лет», – отрапортовал Пиркс про себя этой россыпи звезд. Он думал о том, что даже если предположить на мгновение, что человечество действительно столкнулось со своего рода новым законом природы, с реальной возможностью межзвездных путешествий, то оно сделало это слишком рано. Дальний космос все еще не востребован. Желания человека остаются на Земле. Глотнуть гениальности, купить и продать ее подороже – вот пока безотказный расчет. Как бы оно там ни случилось, Пирксу вдруг захотелось видеть «Сезам» не торговым, но первым храмом и воротами в величайшую сокровищницу Вселенной.

К реальности Пиркса вернула радиодиаграмма: его назначали командиром исследовательского борта к Урану. В конце концов, решать, кто полетит к звездам, будут те, кто летает, решать будут практики. Эру межзвездных полетов – если ей вообще суждено когда-нибудь наступить – начнут не такие, как Олаф. Просто потому, что космос требует безусловного уважения, это Пиркс, пожалуй, знал лучше, чем кто-либо другой.

ВТОРАЯ ВИКТОРИНА ЮНЫХ ФИЗИКОВ ОТДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК РАН

Ответы

Вопросы см. на стр. 47

Вопрос 5

Ответ: да, надо.

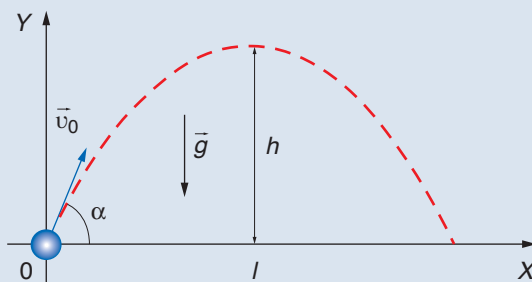
Три разных примера:

1. Исследование неоднородности реликтового излучения (остаток Большого взрыва) на коротких радиоволнах много эффективнее делать из космоса. Примеры: советский проект «Реликт-1», зарубежный WMAP, *Planck*.

2. Радиоинтерферометры со сверхдлинной базой могут увеличить свое угловое разрешение, если вывести один из радиотелескопов в космос. Пример: японский проект VSOP, российский «Радиоастрон».

3. Ультрадлинные радиоволны длиннее 10 метров не проходят через ионосферу Земли. Их можно изучать только из космоса. В настоящий момент США, Китай, Россия рассматривают возможность установки ультрадлинноволнового телескопа на Луне.

Вопрос 6



Данная задача с подвохом. Получается так, что для выполнения условия попадания в противоположный полюс нужно бросать тело с разными скоростями, меньшими 2.37 км/с (вторая космическая скорость), и под углами от нормали, большими 45 градусов. Если ядро выпустить под углом 45 градусов со второй космической скоростью (вторая космическая скорость – наименьшая скорость, которую необходимо придать стартующему с поверхности небесного тела объекту, масса которого пренебрежимо мала по сравнению с массой небесного тела, для преодоления гравитационного притяжения этого небесного тела и покидания замкнутой орбиты вокруг него), то ядро удалится на бесконечность от Луны.

Для того, чтобы это доказать, найдем начальную скорость ядра из известной формулы расчета дальности полета на плоскости (формально нужно проводить расчет для ядра, которое перемещается от одного полюса до другого, огибая Луну, а не вдоль плоскости. После выстрела под углом $\alpha = 45^\circ$ угол между траекторией полета и поверхностью Луны будет только становиться больше, кроме того ускорение свободного падения будет немного меняться во время движения ядра. При таких условиях задача намного сложнее и требует знаний высшей математики. Принципиально ответ задачи при этом не отличается):

$$l = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

Выразим из нее начальную скорость:

$$v_0^2 \sin 2\alpha = lg$$

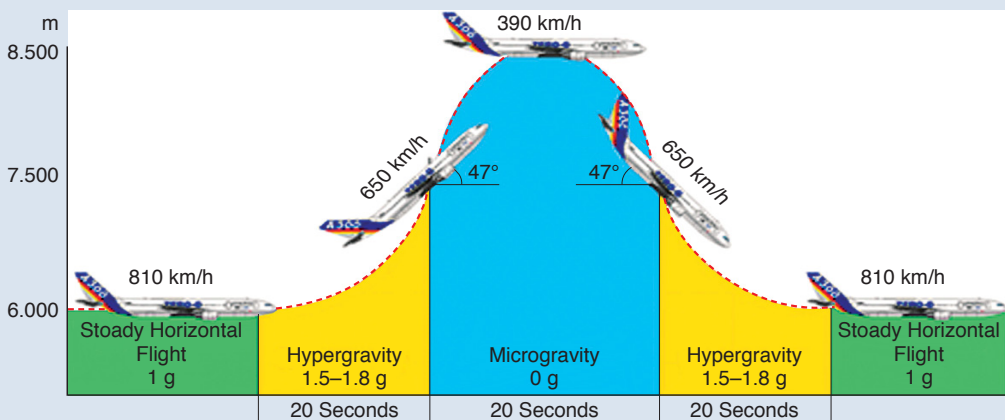
$$v_0^2 = \frac{lg}{\sin 2\alpha}$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{lg}{\sin 2\alpha}}$$

Ускорение свободного падения на Луне $g = 1.62 \text{ м/с}^2$, $\alpha = 45^\circ$, l – расстояние от полюса до полюса (другими словами, диаметр Луны), который равен 3474.8 км.

Подставим всё в формулу и найдем начальную скорость ядра v_0 :

$$v_0 = \sqrt{\frac{3474800 \cdot 1.62}{\sin 90^\circ}} = \sqrt{\frac{5629176}{1}} \approx 2372.6 \text{ м/с} \approx 8541.36 \text{ км/ч.}$$



Начальная скорость выше второй космической скорости, следовательно ядро покинет Луну и никогда не упадет на ее Южный полюс.

Вопрос 7

Полеты на невесомость – один из важных видов подготовки космонавтов. Состояние кратковременной невесомости воздушное судно в полете воспроизводит промежутками, называемыми на космическом жаргоне «режимом». Для этого используется особая техника пилотирования – полет по параболе (парабола Кеплера) (см. рисунок). Сначала самолет разгоняется до максимальной скорости в горизонтальном полете на высоте 6000 м, после чего начинается набор высоты до 9000 м с углом тангажа, достигающим $45-50^\circ$. На этом этапе перегрузка достигает 1.9–2 g. Затем воздушное судно делает «горку» и начинает снижение со все увеличивающимся углом пикирования, вплоть до $45-50^\circ$. За счет этого на борту возникает нулевая вертикальная перегрузка – невесомость. Она длится всего 25–35 секунд. Конечно, такой небольшой промежуток времени не позволяет произвести в условиях невесомости длительные операции. Но в принципе этих секунд вполне достаточно для отработки космонавтами некоторых простых навыков работы на орбите. После «режима» самолет начинает выходить из пикирования. При этом опять действует перегрузка до 2g. После выполнения такого режима требуется 3–5 минут для разворота, зарядки топливных и масляных аккумуляторов. В среднем за один полет продолжительностью 1,5 часа самолет выполняет до 10 таких «режимов». Максимальное количество «режимов», сделанных в одном полете – 20.

Вопрос 8

1. Сила тяжести.
2. Центробежная сила (примерно 0.5% силы тяжести)¹.
3. Архимедова сила из-за наличия воздуха (примерно 0.2% силы тяжести, считая плотность дерева 0.6).
4. Приливная сила со стороны Луны (именно приливная, а не сила притяжения Луны).
5. Приливная сила со стороны Солнца.

Вопрос 9

Для того, чтобы ответить на этот вопрос, нужно обсудить несколько определений.

1. Что такое черный цвет? Обычно под черным цветом того или иного объекта понимают отсутствие от него какого-либо светового потока. В физике абсолютно черным телом называют физическое тело, которое при любой температуре поглощает всё падающее на него электромагнитное излучение во всех диапазонах. Интересно, что несмотря на это определение, абсолютно черное тело само может испускать свет (электромагнитное излучение) любой частоты и таким образом визуально иметь цвет. Спектр излучения абсолютно черного тела определяется только его температурой и описывается формулой Планка. Интересно, что во многом именно необходимость теоретического описания теплового излучения нагретого тела привела

¹ Здесь нужно отметить, что имеются терминологические разногласия по поводу определения «центробежной» силы [Сивухин Д.В. Общий курс физики. – 4-е изд. – М.: Физматлит; МФТИ, 2005. Т. 1. 560 с. ISBN 5-9221-0225-7; 5-89155-078-4], которая в данном случае может рассматриваться как сила реакции и или инерционная сила в неинерционной системе отсчета, связанной с Землей.

к появлению квантовой физики. Немецкий физик Макс Планк, разработавший элегантную квантовую теорию излучения, был награжден Нобелевской премией по физике в 1918 г. Физическим объектом, который наиболее близок по свойствам к абсолютно черному телу, является Солнце.

2. Черная дыра – это область пространства (если быть более точным – область пространства-времени), гравитационное притяжение которой настолько велико, что даже кванты света (фотоны) не могут покинуть эту область. В каком-то смысле все фотоны, попавшие в черную дыру, ею «поглощаются». Теоретически возможность существования черных дыр была показана в работах Эйнштейна, а совсем недавно первое изображение тени черной дыры было получено напрямую в радиодиапазоне с использованием телескопа Event Horizon. В 2020 г. астрофизик Рейнхард Генцель и астроном из США Андреа Гез получили за экспериментальное подтверждение существования черных дыр Нобелевскую премию по физике.

3. Наконец, под темной материей в астрофизике и космологии понимают гипотетическую форму материи, которая не участвует в электромагнитном взаимодействии и поэтому недоступна для наблюдения. Таким образом, темная материя не поглощает фотоны и не излучает их. Темная материя (ТМ) была введена в теории для объяснения проблемы скрытой массы в эффектах аномальной скорости вращения галактик и гравитационного линзирования. По некоторым оценкам, ТМ может составлять порядка четверти массы Вселенной.

Принимая во внимание все изложенное выше, можно заключить, что черная дыра «чернее» темной материи, поскольку она «поглощает» весь падающий на нее свет, в отличие от темной материи, которая попросту с падающим на нее светом почти не взаимодействует.

Хотя, конечно, во многом, обсуждение этого вопроса – это игра слов, заставляющая разобраться с интереснейшими вопросами современной астрофизики и космологии.

Вопрос 10

Всем известно, что скорость света в вакууме – 300 000 км/с – это предельная скорость распространения материи и информации во Вселенной. Поэтому и скорость распространения возмущений плотности (или давления) в газообразных, жидких или твердых средах, т.е. скорость звука, не может быть больше скорости света в вакууме. Однако...

В различных веществах скорость света меньше, чем в вакууме. К примеру, в воде свет распространяется примерно на 25% медленнее, чем в вакууме. Если электрон, движущийся со скоростью 0.9 скорости света, попадает в воду, то он будет обгонять свет в воде. При этом будет наблюдаться явление, аналогичное формированию ударной волны при сверхзвуковом движении пули в воздухе. Правда, в данном случае будет формироваться световая «ударная волна» – излучение Вавилова – Черенкова. Хотя в рассмотренном примере частицы движутся быстрее скорости света в веществе, в то же время скорость звука здесь все еще много меньше скорости света.

Скорость звука в различных средах имеет значения от 350 м/с (воздух) до нескольких тысяч м/с (5600 м/с – сталь, 11 400 м/с – сапфир). При этом скорость сильно зависит от термодинамических параметров – температуры, давления. При понижении температуры скорость звука в газах сильно понижается.

А можно ли замедлить свет до скоростей, существенно меньших скорости звука в воздухе в нормальных условиях (330 м/с)? Оказывается, да! В 1999 г. гарвардские исследователи под руководством профессора Хау показали, что облучение лазером почти непрозрачного сверххолодного газа из атомов натрия в состоянии бозе-эйнштейновского квантового конденсата заставляет его пропускать свет со скоростью в 17 м/с. Бозе-эйнштейновский конденсат принадлежит к числу сред с очень сильной дисперсией и потому может замедлить световые импульсы во многие миллионы раз. Какова же скорость звука в такой среде? Из-за того, что температура газа из атомов натрия почти не отличается от абсолютного нуля, скорость звука в ней очень мала - порядка 1 миллиметра в секунду. Поэтому и в этом случае звук не обгоняет свет.

Есть вещества, в которых свет с определенной длиной волны может быть существенно замедлен при комнатных температурах. Это так называемые фотонные кристаллы. Теоретически вблизи стоп-зоны фотонного кристалла групповая скорость светового импульса может стремиться к нулю. Следует, однако, иметь в виду, что вблизи края стоп-зоны области малой групповой скорости имеют очень узкую спектральную протяженность. Если оптимизировать параметры фотонного кристалла на максимальное замедление с минимальными потерями и малыми искажениями формы импульса, то можно получить замедление скорости света по сравнению с вакуумом в 50 раз, при этом интенсивность светового импульса при прохождении такой структуры будет существенно уменьшаться.

Ученые из Института физики высоких давлений РАН под руководством академика В.В. Бражкина недавно доказали, что у скорости звука есть фундаментальный предел – около 36 км/с. Быстрее этой величины, определяемой фундаментальными физическими константами, звук распространяться не может ни в существующем, ни даже в гипотетическом материале. (Кстати говоря, эта работа вошла в список ТОП-10 мировых прорывов в физике 2020 года).

Чтобы свет распространялся медленнее этого предела, его нужно замедлить примерно в 8300 раз. Формально в фотонных кристаллах законы природы этого не запрещают. Возможно, в перспективе ученым удастся создать такой экзотический материал.

В природе все же имеется вещество, для которого можно сказать, что в нем при определенных условиях скорость звука может быть больше скорости света. Это – плазма!

Плазма – это газ, состоящий из электронов и ионов, для которого выполнено условие квазинейтральности, то есть суммарный заряд частиц газа внутри некоторого выбранного объема в среднем равен нулю. Плазму называют четвертым состоянием вещества, оно самое распространенное во Вселенной, поскольку и звезды, и газ в межзвездном пространстве можно считать плазмой.

Свет и другие электромагнитные волны распространяются в плазме существенно по-другому, чем в вакууме или прозрачных диэлектриках. Как известно, в вакууме могут распространяться только поперечные электромагнитные волны, у которых колебания векторов электрического и магнитного полей происходят в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны. В плазме могут распространяться и поперечные, и продольные электромагнитные волны, самосогласованные с коллективным движением заряженных частиц плазмы. Самосогласованность движения заряженных частиц и электромагнитных полей является важнейшим свойством плазмы!

Поперечные электромагнитные волны могут распространяться в плазме, если их частота больше плазменной частоты – важнейшей характеристики плазмы, пропорциональной квадратному корню из концентрации заряженных частиц. Электромагнитные волны с меньшей частотой не могут распространяться в плазме и полностью от нее отражаются. (Благодаря этому эффекту работает радиосвязь между континентами – радиоволны отражаются от ионосферы и могут таким образом обойти весь земной шар.) Если частота электромагнитной волны приближается к плазменной (сверху), то групповая скорость распространения этой волны в плазме стремится к нулю. Заметим, что при этом коэффициент отражения волны стремится к единице, то есть практически всё падающее на плазму электромагнитное излучение будет от нее отражаться.

В простейшем случае плазмы в отсутствии внешнего магнитного поля, в ней могут распространяться два типа продольных волн – это ленгмюровские волны и ионно-звуковые волны. Более подробно о ленгмюровских волнах вы можете почитать, например, в Википедии. Ионно-звуковые волны являются аналогом обычных звуковых волн – в длинноволновом пределе их частота обратно пропорциональна длине волны, где коэффициент пропорциональности – скорость ионно-звуковых волн. Отметим, что они могут существовать только в неравновесной плазме, когда температура электронов много больше температуры ионов.

Если сравнивать скорость распространения в плазме поперечных электромагнитных волн и ионно-звуковых волн в длинноволновом пределе, то может оказаться, что скорость поперечных волн (аналог световых волн) будет стремиться к нулю, в то время как скорость ионно-звуковых волн (аналог звука) будет иметь вполне конечное ненулевое значение.

Наконец, есть специфические способы своеобразного «замедления» светового сигнала за счет т.н. нелинейных процессов. К таким, например, относится явление фотонного эха. Специально приготовленные световые импульсы могут быть «записаны» в среде на достаточно долгое время – вплоть до микросекунд, после чего произойдет переизлучение и свет выйдет из среды. На основе этого эффекта разрабатывается оптическая память. Но в этом случае говорить об скорости света не вполне корректно.

Таким образом, подытоживая, можно сказать, что при определенных условиях скорость звука в среде может быть больше скорости света.

Примечание: для тех участников викторины, кто планирует глубоко разобраться в этом вопросе, предлагаем познакомиться с таким понятием, как «дисперсионная кривая» (соотношение, связывающее энергию или частоту волны с ее обратной длиной – волновым числом). Оказывается, что поведение дисперсионных кривых для оптических и акустических волн отличается, эти кривые при определенных условиях могут пересекаться, что и свидетельствует о возможности реализации случая, когда скорость звука становится больше скорости света в материале.

1. https://ru.wikipedia.org/wiki/Конденсат_Бозе_—_Эйнштейна
2. <https://nplus1.ru/news/2020/06/11/BEC-orbit>
3. https://www.electronics.ru/files/article_pdf/1/article_1538_845.pdf
4. https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/431858/Medlenny_svet
5. <https://physicsworld.com/a/physics-world-announces-its-breakthrough-of-the-year-finalists-for-2020>

EARTH & UNIVERSE

3 (345), 2022

May–June

TABLE OF CONTENT:

Lev M. ZELENYI Editorial	3
George D. FLEISHMAN Mysteries of the Well-Known Sun	5
Tamara K. BREUS, Galina A. KOTOVA The History of the Discovery of Martian Magnetic Field	20
Hypotheses, Ideas, Discussion	
Genrikh A. AVANESOV, <u>Mikhail V. MIKHAILOV</u> Space and Anthropogenic Factors Underlying the Earth's Climate	30
Education	
Alina V. GOLOVANOV, Konstantin A. MAGARYAN, Andrei V. NAUMOV The Second Young Physicists Quiz of the RAS Physical Sciences Division. Part 2. Tasks	47
People of Science	
Sergey G. KOROSTELEV Leonid Ksanfomality and His Parade of Planets. To His 90 th Anniversary. Part 2	50
History of Science	
Lev M. ZELENYI Lomonosov. At the Beginning of Planetary Atmospheres' Studies and Russian Cosmism	63
History of Cosmonautics	
Yuri M. GEKTIN The Man Who Showed Us the Other Worlds	83
Literary Space	
Olga S. SAZHINA Sezam. The Story About Pilot Pirx	94
Education	
The Second Young Physicists Quiz of the RAS Physical Sciences Division. Part 2. Answers	100
Table of Content and Abstracts	106

Cover: Mike Reva aka Dolph1n “Make your wishes”. A winner of the year 2021 contest of the astrophotos in the category “Astronomical Landscapes” on AstroPhorum <https://astronomy.ru/forum/index.php>

EARTH & UNIVERSE

3 (345), 2022

May–June

Mysteries of the Well-Known Sun

George D. FLEISHMAN

The Center for Solar-Terrestrial Research, New Jersey Institute of Technology

DOI: 0.7868/S004439482203001X

We see the Sun every day and, in a sense, it may seem that we know almost everything about it. However, the more we observe it, the more mysteries it brings, and shows that seemingly familiar physical laws may work differently. In this article the author offers us to discuss some of the numerous mysteries of the «familiar Sun» as coronal mass ejections, unusually high temperature in the solar corona etc.

The History of the Discovery of Martian Magnetic Field

Tamara K. BREUS, Galina A. KOTOVA

Space Research Institute, Russian Academy of Sciences

DOI: 10.7868/S0044394822030021

The studies of Martian magnetic field have begun about 50 years ago. The most peculiar is the fact that the question of the nature of the measured field emerged again and again after it had been closed several times. Almost every new spacecraft brought the data that did a little to shed the light upon the origin of the Martian magnetic field. The paper presents a new interpretation of the results of the previous missions, in the hope to bring the end to the seemingly everlasting scientific discussions.

Индекс 38808

Земля и Вселенная, 3/2022

Заведующая редакцией А.Ю. Обод

Редакторы С.А. Герасютин, Д.А. Кононов, О.С. Сажина

Корректор С.О. Розанова

Верстка макета Н.В. Мелкова

Просим обращаться

по вопросам публикации материалов:

(495)276-77-35 (доб. 42-31), e-mail: zevs@naukaran.com

по вопросам сотрудничества:

(495)276-77-35 (доб. 43-01 или 43-02),

e-mail: journals@naukaran.com

Журнал зарегистрирован Государственным комитетом

Совета министров СССР по печати 28 июня 1991 г.

Свидетельство о регистрации № 2119

www.naukabooks.ru/zhurnali/katalog/zemlja-i-vselennaja/

Все права защищены.

Перепечатка материалов возможна только с разрешения редакции.

Мнение редакции может не совпадать с мнением автора.

Все иллюстрации в статьях предоставлены авторами.

*Ответственность за точность и содержание рекламных
материалов несут рекламодатели*

12+

Сдано в набор 30.03.2022 г. Подписано к печати 13.05.2022 г.

Дата выхода в свет 27.05.2022 г. Формат 70 × 100¹/₁₆

Цифровая печать Усл.печ.л. 9.4 Уч.-изд.л. 9.4 Бум.л. 3.6

Тираж 1000 экз. Заказ № 15 Цена свободная

Учредители: РАН, ФГУП «Издательство «Наука»

Редакция и издатель: ФГУП «Издательство «Наука»

Адрес: 117997 Москва, ул. Профсоюзная, 90

Отпечатано в типографии ФГУП «Издательство «Наука»

Адрес: 121099 Москва, Шубинский пер., 6

АкадемКнига

Букинистический отдел осуществляет покупку и продажу научной литературы, книг по искусству, антикварных изданий, старинных открыток, гравюр и фотографий

Для оценки крупных библиотек выезжаем на дом

Принимаем заказы

Формируем библиотеки

Адрес: 101000, Москва, Б. Спасоглинишевский пер., 8, стр. 4

E-mail: bukinist@naukaran.com

Справки по телефону:

8 (495) 624-7219



Реклама



НОВИНКИ И АКЦИИ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ



vk.com/naukapublishers



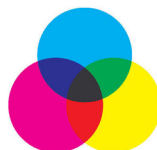
t.me/naukapublishersru



- переплетные работы
- тиснение фольгой
- цифровая печать
- офсетная печать
- ламинирование
- цветоделение
- сканирование
- брошюровка
- лакирование
- цветопроба
- нумерация
- высечка
- верстка
- СТР

Типографии ФГУП "Издательство "Наука"
www.tnauka.ru

- ▶ Разумная ценовая политика
- ▶ Высокое качество продукции
- ▶ Реальные сроки выполнения заказов
- ▶ Работа высококлассных профессионалов



- афиши
- календари
- удостоверения
- адресные папки
- визитные карточки
- фирменные бланки
- брошюры, журналы
- эксклюзивные издания
- полноцветные плакаты
- художественные альбомы
- книги в твердом переплете
- листовки, рекламные буклеты
- наклейки на бумажных материалах

- ◆ Удобное месторасположение
- ◆ Тиражи от 20 экземпляров

Москва

Санкт-Петербург

Новосибирск

